ACTAS
E-ICES5

Celebrado en Malargüe, Mendoza, Argentina
del 24 al 27 de Noviembe de 2009.
Organizado por el International Center for Earth Sciences
Nodo Argentina (ICES).

ices
INTERNATIONAL CENTER FOR EARTH SCIENCES
Nodo Argentina

E-ICES5

Actas E-ICES 5 / dirigido por Oscar Hugo Papú.
1a ed. - Mendoza: Comisión Nacional de Energía Atómica - CNEA, 2010.
E- Book.
ISBN 978-987-1323-17-3
1. Ciencias de la Tierra. I. Papú, Oscar Hugo, dir. - CDD 550

AUTORIDADES ICES ARGENTINA

DIRECTOR CIENTÍFICO
- Dr. José Ruzzante

SECRETARIA EJECUTIVA
- Dra. María Isabel López Pumarega

CONSEJO DE REPRESENTANTES

PRESIDENTE
- Dr. Juan Carlos Leiva (CCT - CONICET - Mendoza)

CONSEJO
- Dr. Alfredo Boselli (CNEA)
- Ing. Agr. Graciela Elena Fasciolo (UNCUYO)
- Ing. Julio Nicolai (CNEA)
- Dr. Manuel Tovar (UNCUYO - CNEA)

COMITÉ ORGANIZADOR

SUB COMITÉ ICES MALARGÜE
- Ing. Agr. Nidia Barbero
- Prof. Amalia Ramires
- Dra. Adalgisia Scotti
- Ing. Frtal Ana Rosa Castaño Gañan
- Téc. César Ojeda
- Téc. Andres Risi
- Lic. Laura Salgán
- Dra. Gabriela Diaz Isenrath
- Lic. Diego Andreoni

SUB COMITÉ ICES BUENOS AIRES (CNEA)
- Magíster Martín Gómez
- Dr. Darío Torres
- Técnica Mary Armeite
- Lic. Mercedes Malvasio

SUB COMITÉ ICES UNCUYO MENDOZA
- Dr. Oscar Papú
- Sr. Matías Quinteros
- Srta. Emilia Molina
- Sr. Alejandro Ramirez

LOS TRABAJOS PUBLICADOS PERTENECEN A:

- Aceñolaza, F.G
- Adame, J. A.
- Agosta, Eduardo A.
- Ahumada, Ana Lía
- Altamirano, Jorgelina
- Alvarez, E. O.
- Álvarez Prat, R.
- Andrade, Analia
- Andreoni, Diego Fernando
- Aschero, Carlos A.
- Atem, A. D.
- Baradello, L.
- Barbero, N.
- Baxter, Peter
- Benedetti, Rosendo
- Bertani, Luis
- Besteiro, Sebastián I.
- Besteiro, S. M.
- Bolpe, J.
- Buceta, Guadalupe
- Busnelli, José
- Cabrera, Miguel A.
- Camiz, Sergio
- Cantero, J.
- Canziani, Pablo
- Carignano, C
- Castaño-Gañan A. R
- Cavagnaro Martín
- Chamorro Eduardo
- Cioccale, M.
- Ciocco, Néstor
- Civeira, G.
- Combessies, G.
- Compagnucci, Rosa Hilda
- Console Gonella, Carlos A.
- Cronin Shane
- D´Ambrosio, Sabina
- D'Angelo, José A.
- De la Morena, B. A.
- Delgado, M. Isabel
- De Mahieu, Genoveva
- Díaz Isenrath, G.
- DiPaola, M.
- Ercoli, E.
- Ezquer, Rodolfo G.
- Finotti, Franco
- Flores, Daniel Germán
- Frau, Carlos
- Gálvez, J.
- Gamboa, Lucía Amelia
- García, Alejandro
- García Ubaque, César Augusto
- Gaspari, F. J.
- Geletti, R.
- Georgieff, Sergio M.
- Gimeno, D.
- Gómez, Darío R.
- Gregori, G. P.
- Guevara, Juan C.
- Guillén, Marcela
- Hernandez, J. F.
- Hernández, J. M.
- Horta, Luis R.
- Huggenberger, Dario Alberto
- Ibáñez Palacios, Gloria Patricia
- Indiveri, M. E.
- Irigoin, J.
- Johnston, David
- Kostadinoff, José
- Lana, Nerina Belén
- Landini, Walter
- López, C.
- Lopez, S.
- Llamas, S.
- Maenza, Reinaldo Agustín
- Mansegosa, D.
- Martínez, Paloma
- Martínez Carretero, Eduardo
- Masi, Carolina I.
- Maulucci, Rosa
- Meza, J.
- Mielnicki, Diana
- Molina, Graciela
- Monti Mariana
- Moscardi Carla Araceli,
- Moscatelli, G.
- Mosert, Marta
- Moreno, Juan Carlos
- Noseda, R
- Nieto, Yàbar D.
- Nuñez, P. Ester
- Ocampo, Laura
- Ojeda, C.
- Ovando, E.
- Paparo, G.
- Papú, Oscar H.
- Paez, Marta N.
- Páez, Silvia Verónica
- Paladino, I
- Palazzo, Gustavo
- Pazos, S.
- Pereyra, Ginestar Blanca Rosa
- Pezzopane, Michael
- Picotti, S.
- Pineda, I.
- Pittaluga, M. Alejandra
- Pobrete, Rolando Ovando Ernesto
- Poscolieri, Maurizio
- Rafanell,i C.
- Ramires, Amalia,
- Raniolo, Luis Ariel
- Ratti, Silvia
- Fernández-Turiel, J. L.
- Rey, Francisco C.
- Rodriguez Vagaria, Alfonso M.
- Roig, Fidel A.
- Romano, Andrea
- Rössler, Cristina
- Claudio, A. Parica
- Rovere, Elizabeth
- Rovere, Mario
- Graham Leonard,
- Rovere, Elizabeth
- Scidá, Luis. A.
- Seoane, J.
- Senisterra, Gabriela E.
- Sorribas, M.
- Stewart, Carol
- Suvires, Graciela Mabel
- Ruiz, L. E.
- Russián, Germán F.
- Scotti, Adalgisa del C.
- Stasi, Carlos R.
- Salgan, L.
- Scotti, A.
- Sepúlveda, Eliseo G.
- Tettamanti, G.
- Tornello, Miguel
- Trombotto, D.
- Tucker, H.
- Vaca, Martha Lucía
- Vardaro, S.
- Vargas, Walter Mario
- Vázquez, P.
- Violante, Roberto A.
- Visciglia, Mauricio J.
- Visciglia, Sergio A.
- Vizioli, N. M.
- Wilson, Thomas
- Zandonai, Fabiana
- Zuccheretti, Enrico

La responsabilidad sobre el contenido de los trabajos publicados es exclusivamente de el/la autor/a o de los/as autores/as.

ÍNDICE

12 **PROGRAMA DE ALERTA Y RESPUESTA ANTE EPIDEMIA DE OCURRENCIA NATURAL, ACCIDENTAL O DELIBERADA DE BACILLUS ANTHRACIS, AZUL, PROVINCIA DE BUENOS AIRES, ARGENTINA. (CONFERENCIA)**

- Noseda, R.
- Álvarez Prat, R.
- Vázquez P.
- Combessies G.
- Seoane J.
- Pazos S.
- Bolpe J.

16 **VARIABILIDAD DE TEMPERATURA Y PRECIPITACIÓN ASOCIADAS CON EL RENDIMENTO DE VID EN MENDOZA**

- Eduardo Agosta
- Martín Cavagnaro
- Pablo Canziani

24 **LAS CABECERAS DEL RÍO SANTA MARÍA, NEVADOS DE CATREAL, RESERVAS HÍDRICAS EN PERMAFROST ANDINO**

- Ana Lía Ahumada
- Gloria Patricia Ibáñez Palacios
- Silvia Verónica Páez

30 **LA IMPORTANCIA DE LA COLECCIÓN DE REFERENCIA PARA LOS ANÁLISIS ANTRACOLÓGICOS, EN EL SUR DE MENDOZA**

- Andreoni, Diego Fernando

40 **EVOLUCIÓN PALEOAMBIENTAL DE LA MESETA DE SOMUNCURÁ (PATAGONIA, ARGENTINA) DURANTE EL HOLOCENO TARDÍO: LOS MICROMAMÍFEROS COMO PROXY DATOS**

- Andrade Analia

47 **REMEDIACIÓN AMBIENTAL EN UN ÁREA NATURAL TURÍSTICA. PARQUE PROVINCIAL COPAHUE. NEUQUÉN (ARGENTINA)**

- Bertani, Luis
- Martínez, Paloma

55 **DESCRIPCIÓN METODOLÓGICA PARA LA ZONIFICACIÓN DE RIESGOS EROSIVOS EN LA CUENCA DEL ARROYO AZUL, PROVINCIA DE BUENOS AIRES.**

- Besteiro, S.I.
- Rodríguez Vagaría, A.M.
- Delgado, M.I.
- Senisterra, G.E.
- Gaspari, F.J.

61 **EXPLORATORY ANALYSIS METHODS APPLIED TO DENDROCHRONOLOGICAL SERIES**
- Sergio Camiz
- Rosa Maulucci
- Fidel A. Roig

68 **EVALUACIÓN DE INDICADORES DE CALIDAD DE SUELOS EN LA REGION PAMPEANA**
- Civeira, G.
- Paladino, I.
- Irigoin, J.
- Moscatelli, G.

74 **LA ICNOFACIES DE GLOSSIFUNGITES SOBRE NIVELES SEDIMENTARIOS DE LA FORMACIÓN YACORAITE (MAASTRICHTIANO-DANIANO) EN EL ÁREA DE TILCARA – JUJUY, ARGENTINA**
- Cónsole Gonella, C.A.
- Horta L.R.
- Aceñolaza F.G

80 **LA CONTAMINACIÓN POR OZONO SUPERFICIAL Y MATERIAL PARTICULADO EN EL SUDOESTE DE EUROPA**
- De la Morena, B.A.
- Adame, J.A.
- Sorribas, M.
- Mosert, M.

92 **RELACIÓN INFILTRACIÓN – ESCURRIMIENTO EN UNA CUENCA SERRANA BONAERENSE**
- Delgado, M. Isabel
- Gaspari, Fernanda J.
- Senisterra, Gabriela E.
- Besteiro, Sebastián I.
- Rodriguez Vagaria, Alfonso M.

99 **LAS INVESTIGACIONES DE LA RED MUSEAL PANGEA. ENFOQUE MULTITEMPORAL PARA LA INDAGACIÓN Y LA VALORIZACIÓN GEO-AMBIENTAL DE LA POMPEI DE LOS DINOSAURIOS “VALLE DE LOS TITANOS” (EL CUY, RIO NEGRO)**
- Finotti Franco
- Landini Walter
- Zandonai Fabiana

105 **SUSCEPTIBILIDAD DEL ÁREA NATURAL PROTEGIDA (ANP) Y PARQUE PROVINCIAL PRESIDENTE SARMIENTO, EN LA PROVINCIA DE SAN JUAN**
- Daniel Germán Flores
- Graciela Mabel Suvires

113 **DISTRIBUCIÓN DEL RECURSO FLORA, SU CONDICIÓN E IMPLICANCIAS PARA EL MANEJO SUSTENTABLE DEL VALLE DE ZONDA, SAN JUAN**
- Daniel Germán Flores

118 **INVENTARIO COLOMBIANO DE FUENTES Y VECTORES DE LIBERACIÒN DE DIOXINAS Y FURANOS PARA EL AÑO 2002**
- García-Ubaque, César Augusto
- Moreno, Juan Carlos
- Vaca Martha Lucía

129 **OBSERVACIONES SOBRE LA RECONSTRUCCIÓN PALEOAMBIENTAL DEL RINCÓN DEL ATUEL**
- Alejandro García
- Eduardo Martínez Carretero

134 **ZONIFICACIÓN DE LA LÁMINA DE ESCORRENTÍA EN LA CUENCA DEL ARROYO PILLAHUINCO GRANDE. BUENOS AIRES**
- Gaspari, F.J.
- Senisterra, G.E.
- Delgado, M.I.
- Rodriguez Vagaría, A.M.
- Besteiro, S.M.

139 **VARIACIONES DE LOS NIVELES DEL SISTEMA LACUSTRE PUEYRREDÓN - POSADAS - SALITROSO EN RELACIÓN AL CALENTAMIENTO CLIMÁTICO DEL PLEISTOCENO TARDÍO-HOLOCENO**
- Luis R. Horta
- Carlos A. Console Gonella
- José Busnelli
- Carlos A. Aschero
- Sergio M. Georgieff

144 **APROVECHAMIENTO ENERGÉTICO EN INSTITUCIÓN EDUCATIVA A PARTIR DE LA TRANSFORMACION DE RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS EN BIOGÁS**
- Indiveri, M.E.
- Atem, A.D.
- Hernandez, J.F.
- Mansegosa, D.
- Llamas, S.

151 **PROSPECCIÓN CARTOGRÁFICA Y GEOFÍSICA DEL SECTOR ORIENTAL DE LAS SIERRAS DE SAN LUIS**
- Luis Ariel Raniolo
- José Kostadinoff

155 **DETERMINACIÓN DE RETARDANTES DE LLAMA (POLIBROMADOS DIFENIL ÉTERES) EN MATERIAL SEDIMENTARIO DE LA CUENCA DEL RIO MENDOZA Y EMBALSE EL CARRIZAL, MENDOZA, ARGENTINA.**
- Nerina Belén Lana
- Carolina I. Masi
- José A. D'Angelo
- Néstor Ciocco
- Jorgelina Altamirano

165 **SOLUCIONES BIOLÓGICAS PARA LA RECUPERACION DE SUELOS CONTAMINADOS CON PETROLEO**
- López, C.
- Cantero, J.
- Gálvez, J.
- Tettamanti, G.
- Vardaro, S.
- DiPaola, M.
- Pineda, I.
- Ercoli, E.

172 **COMPORTAMIENTO DE LOS NIVELES FREATICOS EN EL VALLE DE ZONDA, EN UN LAPSO DE CUATRO DÉCADAS, SU VINCULACIÓN CON EL DESARROLLO AGRÍCOLA Y TURÍSTICO, PROVINCIA DE SAN JUAN, ARGENTINA**
- Lucía Amelia Gamboa
- Laura Ocampo

182 **INFLUENCIA DE LOS CAMBIOS EN EL SOL Y EL CO_2 EN EL CALENTAMIENTO GLOBAL USANDO EL EDGCM**
- Reinaldo Agustín Maenza
- Rosa Hilda Compagnucci

189 **SISTEMA DE INFORMACIÓN Y ALERTA SOBRE EL CAMBIO CLIMÁTICO Y VULNERABILIDAD DE LAS POBLACIONES ALEDAÑAS A LOS HUMEDALES DE MERCOSUR. CASO PILOTO: ESTEROS DEL IBERÁ. PROVINCIA DE CORRIENTES, ARGENTINA.**
- Dra. Genoveva de Mahieu

198 **HIDROQUIMICA DEL ACUIFERO PAMPA DE LA COMPAÑÍA, DEPARTAMENTO MAGALLANES, PROVINCIA DE SANTA CRUZ, ARGENTINA**
- Carla Araceli Moscardi
- Blanca Rosa Pereyra Ginestar

204 **DEVELOPING TECHNOLOGIES FOR SEISMIC EXPLORATION IN POLAR AREAS: CASE HISTORY. ELSA PROJECT**
- Nieto Yàbar D.
- Baradello L.
- Picotti S.
- Geletti R.

207 **AE TIME SERIES AS PRECURSORY INDICATORS OF CATASTROPHIC NATURAL PHENOMENA, EARTHQUAKES AND VOLCANIC ERUPTIONS**

- G. Paparo
- G. P. Gregori
- M. Poscolieri
- C. Rafanelli

215 **MODELADO 3D DEL PLUTÓN USHUAIA. TIERRA DEL FUEGO. ARGENTINA**

- Peroni, Javier
- Tassone, Alejandro
- Lippai, Horacio
- Menichetti, Marco
- Lodolo, Emanuele
- Hormaechea, José Luís

226 **ESTUDIO PRELIMINAR SOBRE PRECURSORES EN OBSERVACIONES DE ESPARCIMIENTO DE RANGO IONOSFÉRICO Y SU VINCULACIÓN CON LA PROPAGACIÓN DE ONDAS DE GRAVEDAD, EN LA CRESTA SUR DE LA ANOMALÍA ECUATORIAL**

- Michael Pezzopane
- Miguel A. Cabrera
- Rodolfo G. Ezquer
- Enrico Zuccheretti
- Marta Mosert
- Luis. A. Scidá
- Graciela Molina

231 **GEOMORFOLOGÍA DINÁMICA EN DEPÓSITOS CUATERNARIOS DEL VALLE DE ZONDA PARA EL ORDENAMIENTO TERRITORIAL. PROVINCIA DE SAN JUAN**

- M. Alejandra Pittaluga
- Graciela M. Suvires

236 **GEOMORPHOMETRY AS A VALUE ADDED TO LAND ANALYSIS**

- Maurizio Poscolieri

245 **PERCEPCION Y RIESGOS DE LAS COMUNIDADES DE CHENQUE-CO Y ALREDEDORES**

- Espec. Amalia Ramires
- Guardaparque Eduardo Chamorro
- Prof. Ernesto Ovando
- Est. Rolando Poblete

258 **CARACTERÍSTICAS GEOQUÍMICAS DE UNA REGIÓN GEOGRÁFICA DE LA RIOJA Y SU VINCULACIÓN CON LOS PATRONES DE METILACIÓN MOLECULARES DEL ADN EN LA EXPRESIÓN FENOTÍPICA ATRIBUIBLE AL GEN HSR (HAND SKILL RELATIVE). EVIDENCIAS PRELIMINARES.**

- Ratti, S.
- Carignano,C.
- Cioccale, M.
- Vizioli N.M.
- Fernández-Turiel, J.L.
- Gimeno, D.
- Alvarez, E.O.

261 **DECISIONES PREFERENCIALES COMO MODELO DE LATERALIDAD EN LA RATA Y EFECTO DE LA ADMINISTRACIÓN CRÓNICA DE ZNTE EN DOSIS SUB-TÓXICAS**
- Ratti, S.G
- Alvarez, E.O.

265 **ESTRATEGIAS DE MITIGACIÓN Y ESTUDIO DE VULNERABILIDADES AL CAMBIO CLIMÁTICO EN EL SECTOR ELÉCTRICO: LA PARTICIPACIÓN NUCLEOELÉCTRICA**
- Cristina Rössler
- Darío R. Gómez
- Francisco C. Rey

272 **TORMENTAS DE POLVO PATAGÓNICO EN ENERO-ABRIL DE 2009: TRAYECTORIAS SOBRE EL OCÉANO ATLÁNTICO SUR Y SU POSIBLE INFLUENCIA SOBRE LA ANTÁRTIDA**
- Cristina Rössler
- Diana Mielnicki
- Claudio A. Parica

286 **ANÁLISIS DE TEFRAS DE LA ERUPCIÓN DE 1932 DEL VOLCÁN QUIZAPÚ (35°39'12"S - 70°45'39"W), REGIÓN DE LA LAGUNA LLANCANELO (MENDOZA)**
- Elizabeth I. Rovere
- Roberto A. Violante
- Andrea Romano
- Mariana Monti
- D. Sabina D´Ambrosio
- Guadalupe Buceta

286 **VOLCANISMO ACTIVO, TEFROLOGÍA, INTERACCIÓN CON LOS ECOSISTEMAS Y SU IMPACTO EN LA SALUD PÚBLICA. INCIDENCIA DEL VOLCÁN CHAITÉN EN TERRITORIO ARGENTINO**
- Rovere, Elizabeth
- P. Ester Nuñez
- Roberto Violante
- Mario Rovere
- Peter Baxter
- Rosendo Benedetti
- Thomas Wilson
- Carol Stewart
- Andrea Romano
- Graham Leonard
- David Johnston
- Shane Cronin

293 **INDICIOS DE LA PRESENCIA DE PERMAFROST DE MONTAÑA EN EL NO DEL CHUBUT, ARGENTINA**
- Ruiz, L. E
- Trombotto D.
- Hernández J. M.

304 **ESTUDIO DE LA VARIABILIDAD DE LA PRECIPITACIÓN EN PATAGONIA NORTE**
- Germán F. Russián
- Eduardo A. Agosta
- Rosa H. Compagnucci

311 **ASOCIACIÓN ARGENTINA DE TECNOLOGÍA NUCLEAR ÁREA TEMÁTICA RESIDUOS RADIACTIVOS. INVESTIGACIÓN Y TRANSFERENCIA DEL ICES SOBRE BIORREMEDIACION DE URANIO EN MALARGUE, MENDOZA.**

- Scotti, A.
- Meza, J.
- Lopez, S.
- Barbero, N.
- Salgan, L.
- Díaz Isenrath, G.
- Castaño-Gañan, A.R
- Ovando, E.
- Tucker, H.
- Ramires, A.
- Ojeda, C.

315 **MODELO SUSTENTABLE DE PRODUCCIÓN DE BOVINOS EN PASTURAS NATURALES DE LA LLANURA DE MENDOZA, ARGENTINA.**

- Adalgisa del C. Scotti
- Juan C. Guevara
- Carlos R. Stasi
- Marta N. Paez
- Sergio A. Visciglia
- Mauricio J. Visciglia
- Marcela Guillén

323 **PALINOMORFOS CARACTERISTICOS DE LA FORMACION LOS ALAMITOS (CAMPANIANO SUPERIOR-MAASTRICHTIANO), PROVINCIA DE RIO NEGRO, ARGENTINA – ESPORAS LEVIGADAS, APICULADAS Y MÁSULAS DE HELECHOS HETEROSPORADOS.**

- Eliseo G. Sepúlveda
- Oscar H. Papú

332 **NUEVAS ESTRATEGIAS DE PROTECCIÓN SÍSMICA PARA REDUCIR LA VULNERABILIDAD DE OBRAS EMPLAZADAS EN REGIONES DE ALTO RIESGO SÍSMICO.**

- Dr. Ing. Miguel Tornello
- Ing. Carlos Frau
- Dr. Ing. Gustavo Palazzo

345 **UNA CLASIFICACIÓN DE LA LLUVIA EN CUYO DESDE UNA PERSPECTIVA GLOBAL POR MEDIO DE UN MAPA AUTO ORGANIZADO DE REDES NEURONALES**

- Vargas, Walter Mario
- Huggenberger, Dario Alberto

PROGRAMA DE ALERTA Y RESPUESTA ANTE EPIDEMIA DE OCURRENCIA NATURAL, ACCIDENTAL O DELIBERADA DE BACILLUS ANTHRACIS, AZUL, PROVINCIA DE BUENOS AIRES, ARGENTINA.

Noseda, R.; Álvarez Prat, R.; Vázquez P.; Combessies G.; Seoane J.; Pazos S. Bolpe J.

rnoseda@laboratorioazul.com.ar

Palabras clave

- Anthrax
- Carbunclo
- Epidemia

Resumen

Introducción: Por Decreto Municipal Nº: 661/04 se convocó para desarrollar este programa, a 9 instituciones relacionadas con la salud pública y las zoonosis. Desde 1977 se realiza Vigilancia epidemiologica de carbunco humano y animal en 30 Municipios de la Provincia, incluyendo Azul, demostrando que el 14 % promedio de los bovinos que mueren súbitamente lo hacen de Carbunclo. En el perido 1989/2008 se identificaron 62 brotes en esta región. En su territorio Azul cuenta con 1.350 establecimientos ganaderos en una superficie de 6.615 Km2, 3.200 pobladores rurales y 672.800 bovinos. Cuerear animales muertos por Carbunclo puede causar en el hombre carbunclo dérmico o digestivo; los servicios de salud del partido reciben diversas consultas por esa causa y 2 casos clínicos promedio por año son atendidos.

Objetivo: Coordinar acciones sanitarias inter-institucionales para: control de brote animal, asistencia inmediata de casos humanos y promoción de la salud en población rural bajo riesgo.

Material y Método: Programas sanitarios - epidemiológicos, técnicas y material para cultivo e identificación bacteriana, Sistema de Información Geográfico, caracterización físico-química de suelos, diseño de material educativo.

Resultados: En el periodo 2004/08 hubo15 alertas del sector veterinario y 18 respuestas que involucraron a personas con lesiones dérmicas u otros problemas,relacionados al tema. Se vacunaron voluntariamente 795.679 bovinos. Fueron geo referenciados 81brotes de carbunclo. Se realizaron 52 tapados controlados para eliminar cadáveres eficientemente y 26 muestreos de suelos para la caracterización de ambientes edáficos. Se confeccionó una guía y programa educativo sobre carbunclo rural para capacitar docentes en educación primaria rural.

Conclusiones: El modelo de "alerta inmediata" desarrollado para la acción inter-institucional demostró ser eficiente mejorando la vigilancia y asistencia inmediata de casos humanos y el control de brotes animales, y evidenció que el carbunclo rural es una asignatura pendiente, debido a la falta de decisión política para el control de esa zoonosis en la provincia de Buenos Aires.

Introducción

El Partido de azul tiene 6.615 km2 de tierra aptas para la ganadería, donde conviven 672.800 bovinos de todas las categorías distribuidos en 1.350 establecimientos y una población rural de 3200 habitantes. El conocimiento de la epidemiología del B. anthacis (1) demuestra que, el 14% de los animales que mueren súbitamente, lo hacen a causa de este agente; evidenciando la acción negativa de esta enfermedad sobre la ganadería bovina de nuestra provincia. Se identificaron 62 brotes de carbunclo que fueron georeferenciados (2) para posteriormente relacionarlos con las vías de avenamiento de aguas del partido. El 93% de los brotes ocurrieron en establecimientos que comparten vías de avenamiento. A su vez el hábito ancestral del hombre de campo de desollar (cuerear) todo animal que muere en su establecimiento, facilita la difusión del Bacillus anthracis al medio ambiente, persistiendo por decenas de años (campos malditos), debido a las características edafológicas particulares que permiten el mantenimiento de esta bacteria esporulada en el suelo. La enfermedad humana esta íntimamente relacionada con el manipuleo imprudente de los animales muertos por esta causa, produciendo lesiones dérmicas (grano malo), sin descartar la posibilidad digestiva o respiratoria, según la encuesta epidemiológica realizada sobre 46 focos de carbunclo (3)

Durante el 2004 se notificaron 32 casos de carbunclo dérmico humano en la provincia, 2 de los cuales coincidieron con brotes de carbunclo bovino evaluados (4).

Objetivo

La resolución WHA 54.14.18 de la OMS de mayo del 2002 (5) solicitó a nivel mundial: Incrementar la respuesta de la salud publica ante el posible uso deliberado de B. anthracis como arma biológica tanto en el ámbito humano, como en el animal. Esta resolución dio los argumentos para que las instituciones involucradas con la salud pública acordaran constituir la

Comisión Municipal de Alerta y Respuesta ante epidemias de ocurrencias natural, accidental o uso deliberado de B. anthracis en el partido de Azul, Pcia. de Buenos Aires, Rep. Argentina, decreto Nº 661/04.

Material y Método

Participantes y Responsabilidades Acordadas.

I.-Secretaria de Salud Publica de la Municipalidad de Azul. Servicio de Epidemiología.

A- Coordina acciones a los 3 Hospitales Municipales del partido (Azul-Cachari–Chillar) con capacidad de 133 camas; una vez recibido el alerta. **B-** Registra las acciones en el Epiinfo (6) **C-** Coordina acciones con (III) en caso de ingresos humanos con carbunclo, sin participación de Médicos Veterinarios.

II.-Círculo de Médicos Veterinarios de Azul.

A- Coordina el registro de adhesión voluntaria de Médicos Veterinarios al programa. **B-** Registra la vacunación anticarbunclosa con aplicación y supervisión profesional del programa voluntario. **C-** Registra las acciones en el Epiinfo.

III.-Laboratorio Azul Diagnóstico.

A- Evalúa la encuesta Epidemiológica (con identificación de personas involucradas) **B-** Aísla e identifica el B. anthracis, determinando su sensibilidad antibiótica **C-** Envía el alerta Epidemiológico a (I), a partir de casos confirmados de carbunclo donde hubo personas expuestas. **D-** Envía las muestras de suelos a la Cátedra de Edafología Agrícola. **E-** Provee al Veterinario los elementos para efectuar la eliminación de cadáveres por el método de "Tapado Controlado" **F-** Registra las acciones en el Epiinfo. **G-** Remite información a IV para georeferenciar el brote.

IV.-INTA Cuenca del Salado.

A- Incorpora al sistema de información geográfico (SIG), la información epidemiológica del alerta de acuerdo a la vía de avenamiento, genera la zona de isorriesgo con: inventario de establecimiento ganaderos, superficie y áreas urbanas expuestas, ubica espacialmente e identifica los establecimientos positivos. **B-** Genera el alerta, editando un mapa de isorriesgo según la vía de avenamiento involucrada. **C-** Registra los establecimientos ganaderos vacunados en el SIG.

V.-Fundazul - Fundación de lucha contra la Fiebre Aftosa.

A- Organiza, coordina registra y administra el Programa voluntario de vacunación anticarbunclosa.

VI.- Departamento de zoonosis Rurales.- Ministerio de Salud Pcia de Bs.As.

A- Realiza la Vigilancia epidemiológica de carbunco humano evaluando el impacto de esta zoonosis en el ámbito provincial. **B-** Capacita a docentes y elabora cartilla educativa para educación primaria rural.

VII. -Facultad de Agronomía –UNICEN- Cátedra de Edafología Agrícola.

A- Determina las características físico-químicas de los suelos en los establecimientos con alertas, tratando de encontrar indicadores edafológicos que los caracterice. **B-** Registra y correlaciona con la información en cartas de suelos.

VIII. -Región Sanitaria IX- Ministerio de Salud de la Pcia. de Bs. As.

A- Evalúa y comunica en el ámbito regional su impacto.

IX. -SENASA Azul- Secretaria de Agricultura, Ganadería y Pesca.

A- Evalúa en el ámbito local su impacto. **B-** Toma acciones de policía sanitaria- Informa al ámbito regional.

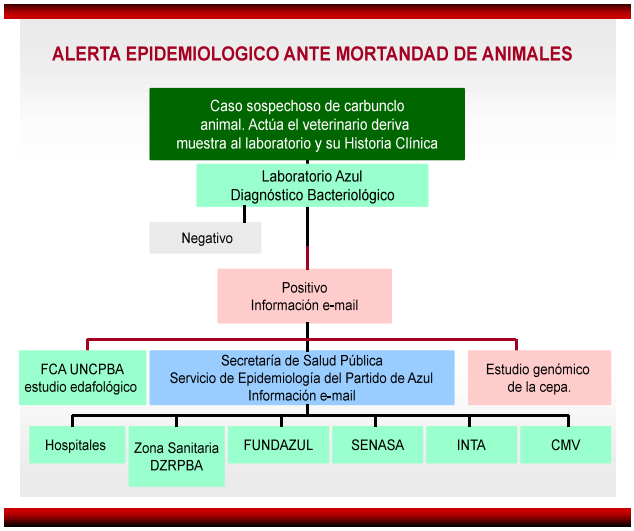
Inicio de alertas

El alerta se inicia a partir de un caso sospechoso de carbunclo humano y/o animal, qué debe ser confirmado por diagnostico bacteriológico.

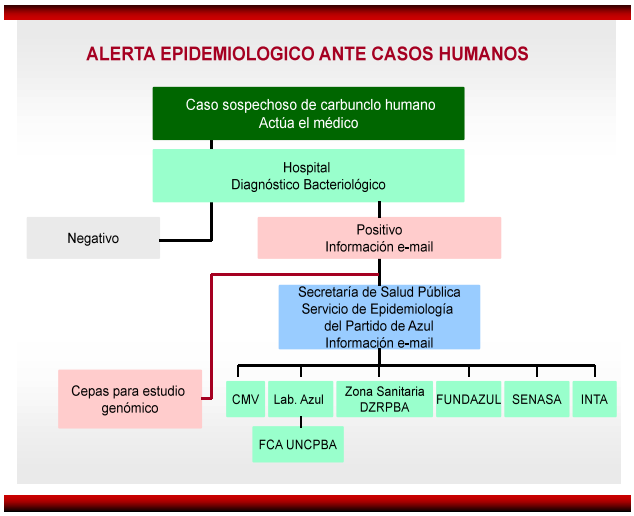
Alerta 1- Bovino muerto con diagnostico presuntivo de carbunclo y personas involucradas; actúa él medico veterinario: realiza maniobras de necropsia según su criterio; toma muestra para el diagnostico; completa ficha epidemiológica; registra si hubo personal involucrado por manipuleo imprudente y realiza acciones sanitarias de eliminación de cadáveres mediante tapado controlado. El Laboratorio de Diagnostico: procesa la muestra y dentro de las 24 hs confirma o descarta el diagnostico de B. anthracis. Realiza identificación y antibiograma de la cepa aislada. Informa el alerta mediante e-mail a la Secretaria de Salud Pública, quien emite el alerta general mediante e-mail a todos los integrantes del programa con los siguientes datos: identificación del establecimiento ganadero, Nº de RENSPA, identificación del propietario, del veterinario y personas involucradas en el manipuleo imprudente de animales muertos por carbunclo; Hospital en el cual recibirán atención en caso de ser necesario; informa los antibióticos sensibles mediante antibiograma.

Alerta 2- Humano con sospecha clínica de carbunclo: el medico de servicio público o privado realiza la evaluación clínica; extrae muestra y remite al Laboratorio de Diagnóstico; completa la historia clínica. Con la confirmación de aislamiento de B. anthracis se genera una alerta general vía e-mail a todas las instituciones del Programa, con igual procedimiento que en el alerta 1.

Esquema de Alerta 1



Esquema de Alerta 2



Resultados

Informe anual de alertas del periodo 18/05/04 a 18/12/2009.

Se generaron 15 alertas de establecimientos ganaderos con muerte súbita de bovinos; en los mismos, donde se habían realizado aislamientos de B.anthracis, los Médicos Veterinarios detectaron manipuleo imprudente por parte de 18 personas.(7)

En 3 de los alertas (25%) se detectaron en cada uno 1 persona (17%) con síntomas clínicos de carbunclo dérmico que fueron asistidas en forma inmediata, por la metodología descripta en el alerta 1.

Informe diagnóstico bacteriológico

Se aislaron 62 cepas de Bacillus anthracis; se identificaron bioquímicamente; se evaluó sensibilidad a los antibióticos de uso más frecuente en medicina humana y veterinaria; se demostró patogenicidad de los mismos.

Informe de eliminación de cadáveres

Se realizaron 52 eliminaciones de cadaveres por la técnica del tapado controlado.

Informe programa voluntario de vacunación anticarbunclosa:

La vacunación simultanea con aftosa registró fehacientemente un total de 795.679 animales vacunados.pertenecientes a 389 establecimientos ganaderos,vacunados en el periodo 2004/2008.

Informe utilización de un Sistema de Información Geográfico (SIG).

Se incorporaron al sistema 62 brotes de carbunclo bovino ocurridos entre 1989/2008. Fueron geo referenciados para su posterior relación con las vías de avenamientos de aguas del partido, las características de sus suelos y la ubicación de las poblaciones rurales que comparten la zona de isorriesgo. Se planteó un sistema de alerta epidemiológico temprano para establecimientos ganaderos que comparten vías de avenamientos de agua en común con el brote de carbunclo diagnosticado.

Evaluación química de suelos.

Se procesaron 26 muestras de suelos que fueron clasificados como suelos Molisoles con distintos grados de alcalinidad sódica. El rango de propiedades que se determinaron es muy amplio y cubren los espectros de suelos típicamente ganaderos de la región.

Informes de acciones en el ámbito de la educación primaria rural.

Se invitó a participar a los directivos de las 24 escuelas rurales involucradas en la zona de isorriesgo. Se elaboró una cartilla educativa para la capacitación de docentes y alumnos rurales, para generar sentido de responsabilidad y actuar como trasmisores de la información recepcionada.

Conclusiones

Se demostró que:

- el B.anthracis causal del carbunclo rural es habitual en el eco-sistema ganadero del Partido de Azul Pcia.de Bs.As.
- el programa de alerta y respuesta ante epidemia de ocurrencia natural, accidental o deliberada creado por decreto Municipal Nº 661/04 cumplió los objetivos propuestos de vigilancia y control de brotes animales y tratamiento inmediato de casos humanos.
- todos los elementos necesarios para el control de esta zoonosis están disponibles: A-Vacuna anticarbunclosa. B-Método para la eliminacion eficiente de cadáveres. C-Ley 6703/61 de fomento ganadero y policía sanitaria de la Pcia. de Bs.As. que obliga a su control.(8) D-Cartilla y técnicas educativas para capacitar a docentes y alumnos de escuelas rurales en riesgo.

Solo falta decisión política para el control de esta zoonosis en la Pcia. de Buenos Aires.(9)

Bibliografía

- Noseda R. P.; Mock M.; Leux M.; Cordeviola J. M.; Fiscalini B.; Bigalli C.; Combessies G. M.; Martínez A. H.; Bardon J. C.; Acuña C. M.– Carbunclo Bovino: su infección al humano, diagnóstico por métodos tradicionales y caracterización molecular (PCR) – Veterinaria Argentina, Vol. XIX, Nº 188 – Octubre 2002.
- Vásquez P. Noseda R.P. Combessies G..Cordeviola J M..Bigalli G.Fiscalini B. Bardon J.C. Martínez A.H–Bacillus anthracis, utilización de un sistema de Información Geográfico (SIG), para el análisis espacio temporal de 54 brotes de carbunclo rural en el Partido de Azul, Bs. As., Argentina-Vet. Arg. Vol. Nº 218.Octubre 2005.
- Noseda R. P.; Cordeviola J. M.; Fiscalini B.; Bardon J. C.; Martínez A. H.; Combessies G. M. – Carbunclo Bovino: Encuesta Epidemiológica sobre 46 focos en la Pcia. De Bs. As. Y su relación con la enfermedad humana – Veterinaria Argentina, Vol. XVIII, Nº 178, Págs.: 578-87. 2001
- MartinoO. Noseda RP- Estrategias de alerta y respuesta ante una epidemia de ocurrencia natural, accidental o por uso deliberado de B. anthracis.- Disertación Academia Nacional de Agronomía y Veterinaria.- 9 de Junio del 2005.
- Fifty-Fifh World Health Assembly-Global Public Health response To Natural Occurrence, Accidental release or Deliberate use of biological and chemical agents or radionuclear materiel that affect health- What 55.16 / 18 de mayo 2002.
- Epiinfo -2002- Programa de Dominio Publico Diseñado por el Centro para el control de enfermedades de Atlanta (CDC).
- Álvarez Prat.R; Combessies G., Seoane J.; Bolpe J.; Vázquez P.; Pazos S.; Noseda. R.- Carbunclo-Red de Alerta revista de la sociedad rural de Azul, año 15 Nº 165 –12 / 2005.
- Ley de Fomento Ganadero y Policía Sanitaria de la Provincia de Buenos Aires Nº 6703/61. – Ley 15465 de Notificación obligatoria de enfermedades transmisibles.
- Castiglione N. O. – Honorable Cámara de Diputados de la Pcia. de Buenos Aires. Proyecto de Resolución, Expediente D-1950/04-05.

VARIABILIDAD DE TEMPERATURA Y PRECIPITACIÓN ASOCIADAS CON EL RENDIMENTO DE VID EN MENDOZA

Eduardo Agosta (1,2)
Martín Cavagnaro (3)
Pablo Canziani (1,2)

(1) Equipo Interdisciplinario para el Estudio de Procesos Atmosféricos en el Cambio Global –PEPACG, Pontificia Universidad Católica. Edificio San José, Av. A. Moreau de Justo 1600, 3er piso, Puerto Madero C1107AAZ, Buenos Aires, Argentina. Email: eduardo_agosta@uca.edu.ar

(2) Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas – CONICET.

(3) PEPACG en Facultad Regional Mendoza (UTN), Mendoza, Argentina

Palabras clave:

- producción de uva
- precipitación
- cambio climático
- rendimiento de vid

Resumen

En la región de Cuyo (entre 28 ° S-36 ° S y 65 ° W-70 ° W), la producción de uva es la fuente principal en la agro-industria, convirtiéndose en la región más desarrollada para la producción de vino en la Argentina. El análisis se centra en el rendimiento anual de la vid en la provincia de Mendoza en el período 1979-2008. La cosecha anual se produce a finales de febrero hasta mediados de abril. Los principales factores climáticos que afectan los rendimientos de la vid son la temperatura y la precipitación. La temperatura puede afectar el crecimiento temprano de los brotes de la vid. Las temperaturas medias máximas de invierno (junio y julio), fines de primavera (noviembre) y verano (diciembre) parecen tener influencia en los rendimientos de uva del año siguiente. Por lo tanto, meses más cálidos (fríos) están relacionados con el aumento (disminución) de rendimiento de la vid. A su vez, la precipitación afecta negativamente el rendimiento por exceso de agua y por el impacto de la destrucción de los viñedos por granizo. Meses más húmedos en noviembre y mediados de diciembre reducen el rendimiento de la producción de uva. Las tormentas de granizo de convección, afectan a los viñedos en enero y marzo del verano anterior, así como en diciembre, mostrando valores más bajos de producción de uva durante la cosecha siguiente.

INTRODUCCIÓN

Desde al menos 1998, la industria vitivinícola nacional ha tenido un sostenido crecimiento cuali-cuantitativo en la producción local que le ha permitido poder posicionarse estratégicamente a nivel internacional, sobreponiéndose a la desaceleración impuesta por la caída del consumo interno nacional de vino registrado en los últimos 25 años. Particularmente la aplicación de tecnologías de punta en las bodegas, junto a acertadas políticas de reconversión varietal hacia viñedos de alta calidad enológica y aplicación de nuevas tecnologías en viñedo, han permitido el mejoramiento de la calidad de la vid para la producción de vinos de alta performance que ubican al país competente en el mercado internacional (Instituto Nacional de Vitivinicultura, INV, en www.inv.org.ar). El posicionamiento de la Argentina a nivel mundial en los últimos años se ve reflejado en el aumento creciente y sostenido de las exportaciones, pasando de estar en el 11º lugar como exportador de vinos a la 7º posición en los últimos 3 años (Organisation Internationale de la Vigne et du Vin; en www.oiv.int).

Dentro del país, la región de Cuyo, en el centro-oeste (entre 28°S-36°S y 65°O-70°O) presenta características climáticas áridas y semiáridas que la hacen favorable para el desarrollo del cultivo de la vid por irrigación artificial. Dentro de la región, la provincia de Mendoza ostenta cerca del 70% del área nacional cultivada con vid y una producción de algo más de 65% del total nacional. Estos datos posicionan a la provincia de Mendoza en un lugar relevante para la agroindustria del vino que depende esencialmente de la producción total de vid y la calidad de uvas obtenidas. En trabajos previos se ha podido inferir que la producción total de vid en la provincia de Mendoza está en parte determinada por las variaciones climáticas de la precipitación regional en escala decádica dentro del período 1979-2000 (Agosta 2005, 2006). En el contexto actual de búsqueda de estrategias para la adaptación al cambio climático global, conocer la evolución de la producción de la vid en Mendoza y las variaciones regionales del clima puede aportar un conocimiento agregado de valor para la toma de decisiones a mediano y largo plazo. Por ello el objetivo de este estudio básico es estudiar en mayor detalle la relación existente entre la variabilidad interanual a lo largo del ciclo anual de la precipitación de verano en Cuyo, la temperatura y la producción total de vid en la provincia de Mendoza para los últimos 30 años.

DATOS Y METODOLOGÍA

Los datos para el análisis de la producción de vid son provistos por el INV y consisten en valores anuales de la producción total de vid en quintales y de la superficie implantada en hectáreas, para la provincia de Mendoza en el período 1979-2008. Con estas variables se estimó el rendimiento de la vid (Rinde) como el cociente entre el total de producción de vid y el área implantada con cultivos. Los datos de precipitación corresponden a totales y frecuencia mensuales de diez (10) estaciones meteorológicas dentro de la región de Cuyo, provistas por el Servicio Meteorológico Nacional (SMN) y mostradas en la Tabla 1. La variabilidad interanual de la precipitación de verano (de octubre a marzo) ha sido estudiada en detalle previamente por Agosta y otros (1999) y Compagnucci y otros (2002). Estos estudios establecieron un índice anual regional para la precipitación estival de Cuyo (PVC), el cual se utiliza en la sección 3.1 del presente análisis sobre la base 1979-2008. El índice se calcula como el cociente porcentual respecto de la media de cada estación sobre el período base, promediado sobre todas las estaciones disponibles en cada año y tipificado. De esta manera, los veranos húmedos (secos) en Cuyo se ven reflejados por los valores positivos (negativos) del índice PVC. En este trabajo, verano húmedo (seco) significa mayor (menor) precipitación cuyo origen puede ser por precipitación líquida o granizo. Además se utilizan datos totales de superficie dañada por granizo (SDG) en hectáreas para los oasis de la provincia de Mendoza, en el período estival 1994-2006, relevada por la Dirección de Agricultura y Contingencias Climáticas (DAAC) de la Provincia de Mendoza (www.contingencias.mendoza.gov.ar).

Para el análisis interanual dentro del ciclo anual de la precipitación y temperatura en relación con el rendimiento de la vid, se utiliza la estación meteorológica Mendoza Observatorio (MZA, ver Tabla 1) como referencia. En la selección se tuvo en cuenta: su período histórico de observaciones, la buena calidad de datos y por estar localizada cerca del Oasis Este, principal área agrícola para la producción de vid. Para analizar las variaciones interanuales dentro del ciclo anual sobre la región cualquier otra estación meteorológica en el área es asimismo representativa. Los datos mensuales utilizados son precipitación (PPP) y temperatura máxima (Tmax) y mínima (Tmin).

La metodología principal consiste en el análisis de regresión múltiple entre el rendimiento de vid (Rinde) y el índice de precipitación (PVC) para el año actual de cosecha (lag=0) y el anterior (lag= +1). También se estiman los coeficientes de correlación del primer momento de Pearson entre las variables y el análisis espectral por transformada rápida de Fourier, previa remoción de las tendencias significativas de las series (Canavos 2003). La serie de la PVC se suaviza mediante un filtro paso-bajo gaussiano de 5 y 9 términos para retener ondas mayores o iguales a 6 y 10 años, respectivamente. También se aplican ajustes polinomiales de grado n por cuadrados mínimos.

Tabla 1: Información de las estaciones meteorológicas usadas para este análisis

Estación	altitud (m)	latitud (ºS)	longitud (ºO)	Registro máximo
(1) La Rioja	516	29º25'	66º52'	1904-2008
(2) San Juan	634	31º32'	68º34'	1901-2008
(3) Mendoza	769	32º53'	68º49'	1901-2008
(4) San Luis	734	33º18'	66º19'	1906-2008
(5) Villa Mercedes	514	33º41'	65º29'	1942-2008
(6) San Carlos	940	33º46'	69º02'	1939-2004
(7) Rama Caída	713	34º40'	68º24'	1927-2008
(8) Colonia Alvear	465	35º00'	67º39'	1936-1979
(9) Victorica	312	36º14'	65º26'	1907-2004
(10) Malargüe	1417	35° 28'	69° 35'	1953-2004

RESULTADOS

Compagnucci y otros (2002) demostraron que la precipitación en Cuyo presenta un cuasi-ciclo de 18 años significativo hasta mediados de la década del 1970, que posteriormente se desvanece debido al efecto local de la transición climática de 1976/77. Según Agosta y Compagnucci (2008b), la existencia de este cuasi-ciclo de 18 años en la precipitación de Cuyo responde a oscilaciones del campo de presión en latitudes medias centrados en 55ºS-50ºO sobre el sudoeste del Atlántico Sur.

Está bien establecido que la variabilidad tipo-El Niño presenta cambios de fases en los veranos australes 1945/56 y 1976/77 (Mantua y otros 1997, Garreaud y Battisti 1999). Este último cambio concuerda con el cambio significativo en el cuasi-ciclo de 18 años de la PVC que mantiene el período húmedo prolongado en Cuyo de las últimas tres décadas (Compagnucci y otros 2002). A partir de los 2000s, se evidencia un cambio hacia una fase negativa de la serie de la PVC, probablemente inaugurando otra fase negativa de muy baja frecuencia.

El rendimiento de la vid y la precipitación total de verano en el período 1979-2008

Agosta y Cavagnaro (2009) demostraron que el rendimiento de vid y el índice anual PVC muestran a lo largo del período 1979-2007 una tendencia positiva y significativa (Figura 1). Una parte de la tendencia positiva en la variable Rinde es plausible atribuirla al mejoramiento de las condiciones de cepas y viñedos en las últimas décadas. Asimismo la precipitación en la región de Cuyo presenta una tendencia

negativa. Durante el período 1979-1993 predominan valores positivos mientras que desde mediados de los 1990s hasta mediados de los 2000s predominan valores negativos, que en el promedio global revelan el proceso de baja frecuencia de cambio de fase. Si bien los dos últimos registros 2007 y 2008 muestran valores positivos de PVC, la tendencia negativa es el proceso dominante. Las tendencias de signo contrario observadas entre precipitación estival en Cuyo y el rendimiento de vid en Mendoza y la correlación inversa entre ambas series crudas que es mayor a 0,45 sugieren que, en principio, podrían estar vinculadas de establecerse algún mecanismo real de conexión en la muy baja frecuencia.

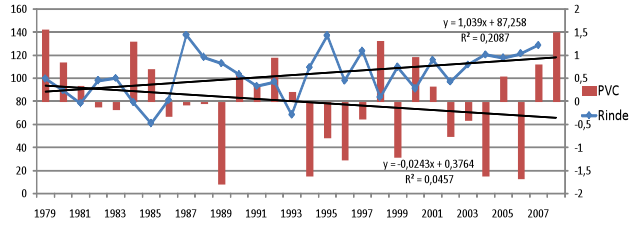


Figura 1: Valores anuales del rendimiento de la vid en Mendoza (Qa/Ha) (Rinde, línea con cuadros) y del índice de precipitación de verano en Cuyo (PVC, barras verticales). Líneas de tendencia lineal para cada serie, con ecuaciones y varianzas explicadas, respectivamente.

La correlación entre PVC y Rinde sin tendencias es durante el verano actual (lag=0) r0 = -0,35, significativamente no nulo al 90%, y durante el verano siguiente (lag=+1), r1 = -0,36, significativamente distinto de cero para el 95%. Es decir que tanto la precipitación en el verano actual como durante el verano anterior explican una similar pequeña fracción de varianza del rinde de la vid, cada una por separado. Cabe destacar que la precipitación de un verano no guarda memoria con la del año siguiente como lo muestra la correlación nula entre las series de PVC para lag=0 y para lag=-1, es decir, ambas son independientes. Sin embargo como ambos efectos pueden contribuir independientemente con el rendimiento de vid, es posible establecer un plano de regresión lineal entre las variables sin tendencias del rendimiento de la vid (Rinde ST, sin tendencia), como variable dependiente, y la precipitación tanto del verano actual como del verano anterior (PVC ST lag=0, PVC ST lag=+1), como variables independientes. Para este análisis de regresión múltiple, se obtiene un coeficiente de regresión múltiple R= 0,500 que es significativo para α=0,02 (con N=29). El análisis de los residuos (Figura 2) claramente muestra el alto grado de independencia de éstos con las variables independientes del modelo de regresión múltiple, lo cual revela la fiabilidad del análisis. Por consiguiente, el efecto conjunto de la precipitación del verano anterior y el verano actual sobre el rinde la vid es explicar cerca del 25% de la varianza interanual.

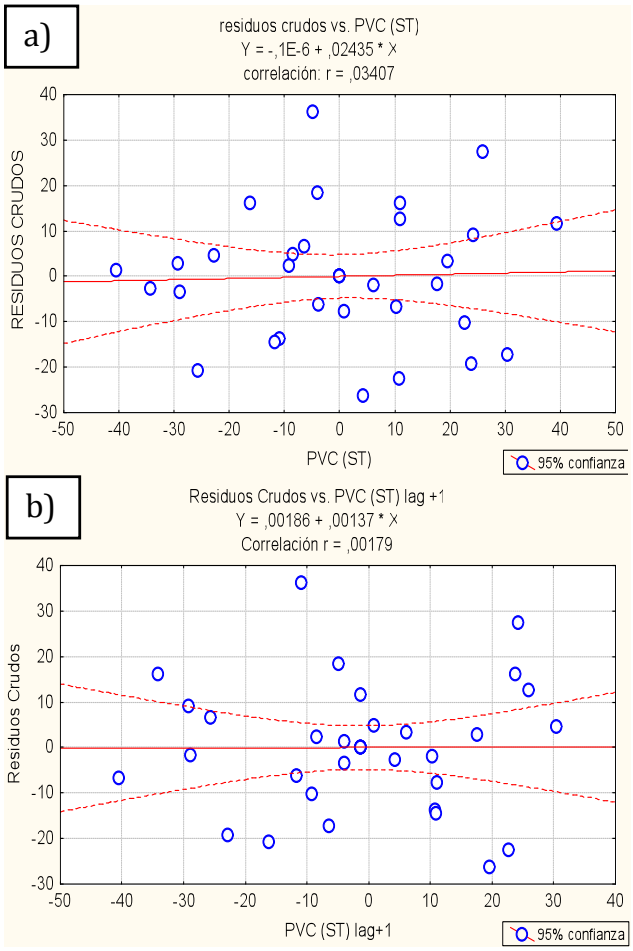


Figura 2: Puntos de dispersión entre residuos y las variables independientes (círculos): a) precipitación en el verano actual sin tendencia (PVC (ST)) y b) en el verano anterior sin tendencia (PVC (ST) lag+1). Líneas de regresión lineal, ecuación de la recta de regresión, coeficiente de correlación y bandas de significancia.

En consecuencia, tanto el daño de brotes y yemas por granizo el año anterior y el exceso de agua que produce anegamiento y predispone a enfermedades fúngicas en el verano actual aparecen como el mecanismo real de conexión entre el rendimiento de la vid y la precipitación en Cuyo año a año. Para cerrar esta conclusión queda por verificar si es posible que un verano húmedo (seco) definido con el índice PVC esté asociada a mayor (menor) ocurrencia de granizo. Con este fin se correlaciona el índice sin tendencia con la serie de superficie dañada por granizo (SDG) en todos los oasis, también sin tendencia, sobre el período de datos disponibles (1994-2006, N=13). Ideal hubiera sido contar con datos observados de granizo, pero lamentablemente no se cuenta con datos de esta variable para la región, en un período suficiente en calidad, número de estaciones y continuidad. Cabe destacar que la serie SDG presenta una tendencia ligeramente negativa durante los últimos años que puede estar asociada a la campaña antigranizo (figuras no mostradas) por ello es conveniente su filtrado. La Figura

3 muestra la relación de dispersión entre ambas variables. Es evidente el alto nivel de relación lineal directa, revelada por el coeficiente de correlación r = 0,56, significativamente no nulo para una confianza del 95%, y por el hecho de que todos los puntos de la dispersión caen dentro de la banda del intervalo de confianza. Esto significa que las variaciones de la precipitación explican algo más del 30% de la varianza del la superficie dañada por granizo. O indirectamente, un verano húmedo (seco), o con mayor (menor) precipitación, está significativamente asociado a la ocurrencia de más (menos) caída de granizo que daña más (menos) superficies cultivadas.

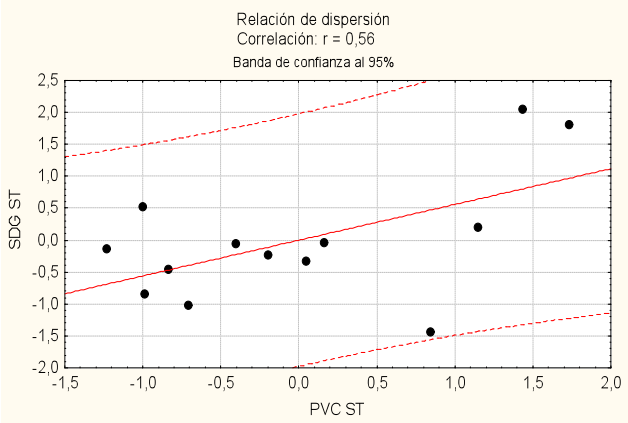


Figura 3: Relación lineal entre la superficie dañada por granizo (SDG ST) en todos los osasis y la precipitación de verano en Cuyo (PVC ST), ambas sin tendencias, calculado para N=13. Los valores de SDG se muestran tipificados.

Los espectros de Fourier de las series de Rinde y PVC (Figura 4) muestra que ambas variables tienen un pico de energía espectral en las bandas 7-8 años que son significativos a más del 90% de confianza. Aplicando un filtro paso-bajo de 6 años con pesos gaussianos a cada una de las series es posible visualizar en el tiempo las oscilaciones de baja frecuencia que revela el análisis de espectro. Claramente en la escala intradecádica el rendimiento de la vid y la precipitación en Cuyo están en fase e inversamente relacionados (Figura 5). Esto quiere decir que ambos procesos asociados a la precipitación que afectan el cultivo de vid y su producción (el mecanismo real de conexión) se transfieren a la baja frecuencia como un proceso fluctuante a lo largo de una década. Por lo cual, nada impide que dichos efectos también se mantengan a lo largo de prolongados períodos de cambio de fase de la precipitación, en escalas mayores a la década, como los ocurridos a lo largo del siglo XX (Agosta y Compagnucci 2008b). Asimismo una parte de la tendencia significativa del rendimiento de la vid puede estar vinculada a la tendencia de signo contrario de la precipitación de Cuyo durante los últimos 30 años.

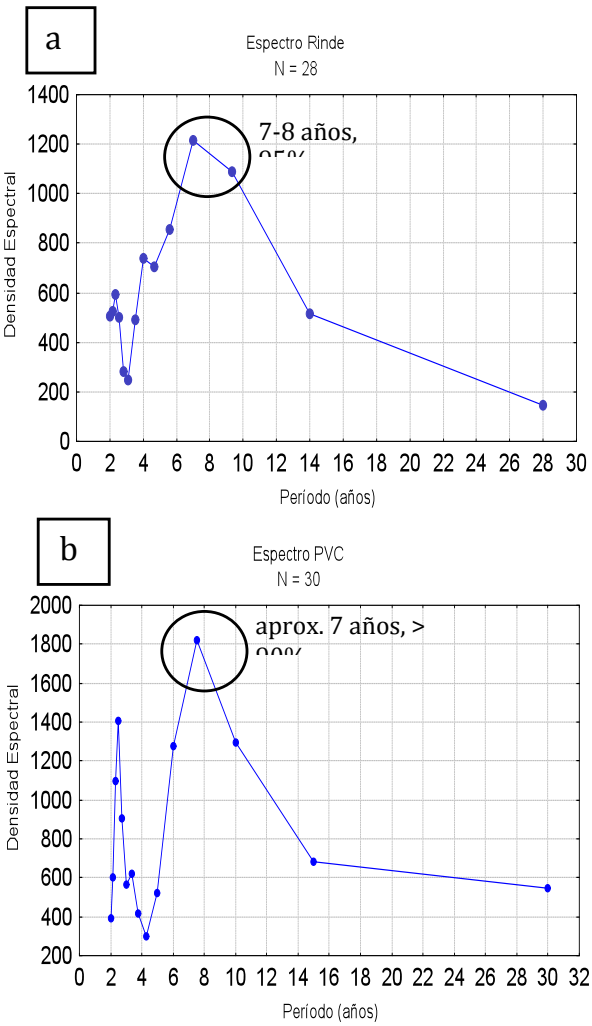


Figura 4: Espectros para a) la serie de rendimiento de vid sin tendencias (Rinde) y b) la precipitación de Cuyo sin tendencias (PVC), expresados en períodos. Picos espectrales significativos de acuerdo al espectro asociado de continuo nulo de ruido "blanco" markoviano (dado que la autocorrelación para lag=1 es significativamente nula para ambas series) siguiendo las sugerencia de (Jenkins y Watts 1968).

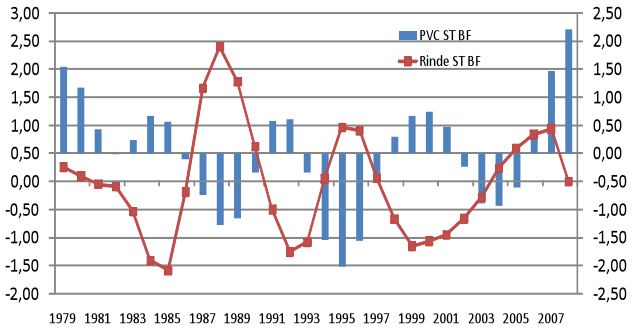


Figura 5: Series filtradas paso-bajo de baja frecuencia (ondas mayores o iguales a 6 años) de la precipitación de verano en Cuyo sin tendencias (PVC ST BF, barras) y del rendimiento de vid en Mendoza (Rinde ST BF, línea con cuadro). Eje izquierdo valores tipificados de Rinde y eje de la derecha, valores del índice PVC.

Variabilidad interanual dentro del ciclo anual de la precipitación y su relación con el rendimiento de vid

En esta sección se analiza la relación entre el rendimiento de la vid y la precipitación y temperatura (máxima y mínima) a lo largo de los meses previos a la vendimia. La vendimia comienza a mediados de febrero y finaliza al término de abril, por lo que el grueso de la vendimia usualmente se ubica en torno al mes de marzo. Se considera en este caso una campaña al período que se extiende desde mayo de un año a marzo del siguiente. La correlación entre el rendimiento sin tendencia (Rinde ST) y la precipitación mensual durante el año anterior a la vendimia (lag=-1), muestra valores de coeficiente significativos para los meses de enero ($r=-0,59$, para $\alpha<0,01$), marzo ($r=-0,35$, para $\alpha<0,10$), noviembre ($r=-0,36$, para $\alpha<0,10$) y diciembre ($r=-0,49$, para $\alpha<0,01$). En cada uno de estos meses la correlación es negativa, por lo que la relación ente precipitación y Rinde ST es inversa. Para los meses estivales del año de vendimia, las correlaciones obtenidas siguen siendo negativas aunque no son significativas. Nótese que tanto enero como marzo del año anterior forman parte de la campaña de la vendimia del año anterior. Aquí estamos viendo entonces un posible efecto remoto ya detectado mediante el índice anual PVC de la sección anterior.

El rendimiento de las plantas se ve afectado por la pérdida de superficie foliar debido a defoliación provocada por la ocurrencia de precipitaciones intensas o granizo (daño directo) y por la asfixia radicular debido al anegamiento prolongado causado por un exceso de agua durante lluvias torrenciales de verano (daño indirecto) (Gil y Pszczólkowski, 2007). A su vez las lluvias excesivas, en general, causan efectos negativos cuando favorecen el desarrollo de enfermedades criptogámicas, principalmente peronóspora, oidio y botrytis. Estas enfermedades fúngicas, afectan la superficie foliar fotosintéticamente activa y pueden afectar los racimos, tanto como bayas verdes o en etapa de maduración (Gil y Pszczólkowski, 2007). Es decir que las condiciones de humedad durante la estación cálida próxima a la vendimia pueden tener efectos significativos en el rendimiento.

Por otra parte, si bien el daño producido a las plantas es importante en cualquier estadio fenológico, es particularmente importante en las primeras fases del desarrollo que se dan durante la estación cálida del año anterior a la vendimia, produciendo pérdida de brotes completos y especialmente en las fases de floración y cuaje de los racimos. En estas etapas puede disminuir considerablemente la cantidad de racimos florales o cuajados, o dejar heridas en bayas ocasionando una merma directa en la producción del ciclo vegetativo posterior inmediato (Sotés, 2003). Esto significa que también las condiciones de humedad del verano del año anterior son relevantes. Es decir que las correlaciones inversas y significativas de la PPP enero y de marzo del año anterior con Rinde pueden deberse a deterioro de yemas por destrucción de granizo.

La Figura 6 muestra la marcha de las series SDG sólo en el Oasis Este y PPP acumulada (PPP acum.) entre octubre y marzo, que es el período de mayor actividad convectiva en el área de Cuyo (Agosta y otros 1999). El período comprendido es de las vendimias 1994 a 2006. Lamentablemente no se cuenta con mayor longitud de período disponible; tampoco con mediciones directas de granizo en el área. El coeficiente de correlación entre ambas series es de 0,64, significativo al nivel 2%. Se observa que la PPP acumulada de verano acompaña el comportamiento de menor frecuencia que da el quiebre de tendencia, de positiva hasta el 2000 a negativa hacia el 2006. Es notable la fuerte relación directa entre mayor (menor) precipitación estival y mayor (menor) daño por granizo. Se destaca que sobre el período estudiado (1979-2008), la tendencia de la precipitación estival es ligeramente negativa aunque no significativa y se acentúa desde comienzos del 2000 hasta el presente, por lo que cabría esperar que el daño por granizo en el Oasis Este, al menos, siga en decrecimiento. La variabilidad de la precipitación de verano acumulada entre octubre y marzo ha sido estudiada en detalle previamente por Compagnucci y otros (2002) y Agosta y Compagnucci (2008) para toda la región del centro-oeste de Argentina. La misma reviste características coherentes en toda la región y se aprecia desde al menos fines de los últimos 30 años una tendencia negativa en las precipitaciones de Cuyo (Agosta y Cavagnaro 2009).

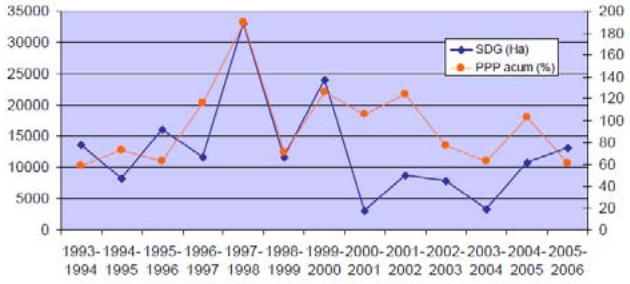


Figura 6: Superficie dañada por granizo en el Oasis Este (SDG en hectáreas, Ha) y precipitación estival acumulada entre octubre y marzo en MZA (PPP acum) expresada como porcentaje (%) de la media estival del período 1978-2008.

Relación entre rendimiento de vid y temperatura

Otro factor relevante es la temperatura y su incidencia en el crecimiento de los racimos en las distintas etapas del ciclo fenológico. Tanto el crecimiento como la productividad de los racimos dependen de la asimilación de carbono en la fotosíntesis y su posterior translocación y localización, todo esto regulado por la temperatura. (Sotés, 2004).

El rendimiento de vid sin tendencia (Rinde ST) y la temperatura mínima media (Tmin) muestra únicamente correlación significativa y positiva en el mes de diciembre sin tendencia (r=0,37, al nivel 1%). Por el contrario, las Tmax ST muestran correlaciones significativa y positivas en enero para el año anterior (r=0,33 al nivel 10%), junio (r=0,42 al nivel 5%), julio (r=0,46, al nivel 2%), noviembre (r=0,51 a más del nivel 1%) y diciembre (r=0,48, al nivel 1%). Los meses estivales de noviembre y diciembre parecen ser decisivos en el rendimiento de la vid.

Cuando se correlaciona Rinde ST con el rango mensual (RT=Tmax-Tmin), se encuentra que la correlación es significativa para junio (r=0,36), noviembre (r=0,46) y diciembre (r=0,39).

Para noviembre y diciembre las temperaturas medias máximas son importantes dado que influyen decisivamente en el cuaje y crecimiento de las bayas. Esto afecta directamente el peso final del racimo y el rendimiento total de las plantas. El rango de temperatura si bien es importante en estos meses, afectaría más que nada la calidad de los frutos, en la cantidad y calidad de compuestos polifenólicos que inciden en la calidad del vino producido, pero no la cantidad de racimos obtenidos. Por consiguiente la amplitud térmica RT correlaciona con rinde en noviembre y diciembre, porque sigue a Tmax que es la que realmente parece estar afectando.

De la misma manera, la Tmax de junio y julio pueden estar influyendo en la formación de racimos, en calidad y cantidad. En estos meses las yemas de la vid se encuentran en fase de ecolatencia (o ecodormición), durante la cual las mismas están en condiciones de brotar pero no lo hacen hasta que las primeras temperaturas cálidas de primavera les permitan una salida de ese estado y aseguren el normal desarrollo de los nuevos brotes (Pinto y otros). La Tmax de enero, sin embargo, parece responder vía la precipitación de ese mes, que tiene efectos importantes por su relación con la producción de granizo.

Una pregunta que surge es saber si la variable temperatura máxima y precipitación tienen correlación significativa con el rendimiento en diciembre porque estas dos variables meteorológicas correlacionan inversamente mutuamente (r(TmaxSTnov,PPPSTdic)=-0,40 y r(TmaxSTdic,PPPSTdic)=-0,37, significativos al nivel de 5%); o bien, hay un efecto real posible sobre el cultivo como los que se ha explicado anteriormente. De los valores de correlación entre Tmax y PPP se deduce que las variaciones interanuales de la precipitación de diciembre tienen relación inversa con las de temperatura máxima media del mes anterior (noviembre) y el mismo mes. Para responder a la pregunta, primero se estimaron las correlaciones parciales entre Rinde ST y PPP ST de diciembre sin el efecto lineal de Tmax ST de noviembre y diciembre, respectivamente. Luego, se estimó la correlación parcial de Rinde ST con Tmax ST en diciembre sin el efecto de PPP en diciembre. Los resultados se muestran en la Tabla 1.

	PPP_{dic} / sin $Tmax_{dic}$	PPP_{dic} / sin $Tmax_{nov}$	PPP_{dic} / sin $Tmax_{nov\text{-}dic}$	$Tmax_{dic}$ / sin PPP_{dic}	$Tmax_{dic}$ / sin PPP_{nov}	$Tmax_{dic}$ / sin $PPP_{nov\text{-}dic}$
Rinde	-0,40 **	-0,42 **	-0,33 *	0,38 **	0,46 ***	0,38 **

Tabla 2: Correlaciones parciales entre el rendimiento de la vid (Rinde) y precipitación (PPP) y temperatura máxima (Tmax) en diciembre sin tendencias, sin el efecto lineal de las otras variables sin tendencias en noviembre y diciembre. *: Significativo a α=0,10. ** Significativo a α=0,05. ***: Significativo a α=0,02.

Los valores de correlación parcial obtenidos revelan que si bien precipitación y temperatura máxima se hallan significativamente correlacionadas en forma inversa en diciembre, estas variables tienen un efecto neto real cada una por separado sobre el rendimiento de la vid en la vendimia próxima. Se observa que la precipitación de diciembre (PPPdic) está algo condicionada con el comportamiento conjunto de la temperatura máxima (Tmax) de noviembre y diciembre. Es decir, cerca del 21% de la varianza de la PPPdic se explica por la varianza de Tmaxnov-dic. Con todo PPPdic arroja valores significativos con el rendimiento de la vid, al menos con una confianza del 90%.

CONCLUSIONES

El rendimiento de la vid en Mendoza y la precipitación de verano están significativamente relacionados en forma inversa a lo largo de la década debido a dos procesos distintos que afectan los cultivos de vid año a año y que conforman un mecanismo real de conexión. Uno es el daño producido por el granizo sobre la disponibilidad de yemas durante el verano anterior y el otro es el daño provocado por el exceso de agua en el cultivo (asfixia radicular, desfoliación por intensidad de lluvias, anegamiento prolongado, proliferación de enfermedades, etc.) durante el verano actual de la cosecha. Esto se traduce en la existencia de períodos de 3-4 años con alto (bajo) rendimiento de vid debido solamente a variaciones en la precipitación. Como la precipitación durante las últimas décadas ha experimentado una tendencia negativa, cabe esperar que estos mismos efectos sean responsables de una parte de la tendencia positiva y significativa del rendimiento de la vid, además del mejoramiento por implementación de tecnologías nuevas.

Diversos escenarios de cambio climático generados sobre la base de modelos de Circulación General de la Atmósfera (CGA), acoplados con océanos, con distintos umbrales de

gases de efecto invernadero (GEIs) coinciden en que, para la región de los llanos de Cuyo, durante las décadas futuras (más allá del 2080, por ejemplo), habrá mayores tasas de precipitación en la estación lluviosa sobre Argentina subtropical incluyendo los llanos de Cuyo (Núñez et al. 2008). Por lo cual, de mantenerse las relaciones causa-efecto encontradas en este estudio entre precipitación y producción de vid a través del mecanismo real de conexión año a año, entonces la región de Cuyo tiene alta posibilidad de atravesar condiciones climáticas futuras que comenzarían paulatinamente a ser adversas para el rendimiento de la vid, al menos en lo que respecta a la precipitación.

En el análisis de la variabilidad interanual de la precipitación dentro del ciclo anual y su relación con la producción de vid en Mendoza se ve que la precipitación tiene una doble acción negativa sobre el rendimiento de la vid en la vendimia. Uno, por exceso de agua que se evidencia en los meses de noviembre y, parte en diciembre, de floración y cuaje de los racimos. El otro, por el impacto de la destrucción del cultivo debido a granizo que genera disminución parcial o total de parcelas enteras para la cosecha siguiente. Esto ocurre principalmente en enero y marzo del verano anterior y en parte durante diciembre del verano próximo a la vendimia, este último afectando directamente los racimos.

La temperatura en las distintas etapas del ciclo fenológico del cultivo también juega un rol importante en la producción final de la vid. Los resultados muestran que la temperatura media máxima (Tmax) en invierno (junio y julio) junto con la de primavera tardía (noviembre) y comienzos de verano (diciembre) tienen un rol preponderante y directo en el rendimiento obtenido en la cosecha siguiente. Estos dos últimos meses muestran la mayor correlación positiva con cerca del 25% de varianza explicada. Las temperaturas medias máximas de noviembre y diciembre son importantes para el cultivo de vid dado que influyen decisivamente en el cuaje y crecimiento de las bayas. Esto afecta directamente el peso final del racimo y el rendimiento total de las plantas. La variabilidad interanual de la amplitud térmica media mensual, en cambio, no parece tener un rol definido sino más bien seguir el comportamiento de la Tmax en su relación con el cultivo tanto en junio como noviembre y diciembre.

En futuros trabajos se abordarán las relaciones entre los efectos aquí tratados en cuanto a la temperatura y la precipitación en relación a los eventos fenológicos más importantes en el ciclo anual de la vid, a fin de comprender las consecuencias que producen los efectos climáticos sobre el cultivo.

Agradecimientos:

A los proyectos PICT 2007-01888 y PICT 2007-00438 de la Agencia Nacional (SECYT). A O. Carm. por toda su ayuda.

Referencias:

- Agosta, E.A., M.A. Cavagnaro y P.O. Canziani, 2009. Principales factores climáticos asociados al rendimiento de vid en Mendoza durante las últimas tres décadas. Póster en “XIII Congreso Latinoamericano e Ibérico de Meteorología (CLIMET XIII)” y “X Congreso Argentino de Meteorología” (CONGREMET X). 5 al 9 de octubre de 2009, Buenos Aires, Argentina.
- Agosta, E. A. y M.A. Cavagnaro, 2009: Variaciones interanuales de la precipitación de verano y el rendimiento del cultivo de la vid en Mendoza. GEOACTA. Enviado.
- Agosta, E. A. ,2005: Fluctuaciones interanuales de la precipitación de verano en el Centro-Oeste de Argentina y producción de Vid durante las últimas décadas. En: XIII JORNADAS DE JÓVENES INVESTIGADORES, San Miguel de Tucumán.
- Agosta, E. A., 2006: Precipitación de Verano en la región Centro-Oeste de Argentina y procesos atmosféricos/oceánicos de escala regional y global. Tesis de Doctorado de la Universidad de Buenos Aires. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, pp 178.
- Agosta, E. A. y R.H. Compagnucci, 2008a: The 1976/77 Austral Summer Climate Transition Effects on the Atmospheric Circulation and Climate in southern South America. Journal of Climate. DOI: 10.1175/2008JCLI2137.1.
- Agosta, E. A. y R.H. Compagnucci, 2008b: Procesos atmosféricos/oceánicos de baja frecuencia sobre la cuenca sudoeste del Atlántico Sur y la variabilidad de la precipitación en el Centro-Oeste de Argentina. GEOACTA 33, 11-22.
- Agosta, E. A., R.H. Compagnucci y, M.W. Vargas, 1999: Cambios en el Régimen Interanual de la Precipitación Estival en la Región Centro-Oeste Argentina. Meteorológica. , v.24, n.1 y 2, 63 – 84.
- Canavos G.C. 2003. Probabilidad y Estadística. Mc GRaw-Hill, Madrid, 651pp.
- Compagnucci R.H., E.A. Agosta, M.W. Vargas, 2002: Climatic Change and Quasi-Oscillations in Central-West Argentina Summer Precipitation. Main Features and Coherent Behaviour with Southern African Region. Climate Dynamics. , v.18, p.421 – 435.
- Ebbesmeyer C.C., Cayan D.R., McLain D.R., Nichols F.H., Peterson D.H. and Redmond T. 1991: 1976 Step in the Pacific Climate: Forty enviromental changes between 1968-1975 and 1977-1984. Proceeding of the 7th Annual Pacific Climate PACLIM, Workshop, April 1990,

Eds. Betancourt, J.L. y V.L. Tharp, Californian Dep. of Water Resources, Interagency Ecological Studies Program, Tech. Rep. 26, 115-126.

- Gil, Gonzalo F. y Pszczólkowski, P, 2007: Viticultura. Fundamentos para optimizar producción y calidad – Colección en Agricultura – Facultad de Agronomía e Ingeniería Forestal – Universidad Católica de Chile .
- Grimm, A.M., Sahai, A.K., Ropelewski, C.F. 2004: Long-term variations in the performance of climate models. XIII Congresso Brasileiro de Meteorologia.
- Huang, H.-P., R. Seager, and Y. Kushnir, 2005: The 1976/77 transition in precipitation over the Americas and the influence of tropical sea surface temperature. Clim. Dyn., 24 (7), 721 – 740.
- Jenkins and Watts,1968, Spectral Analysis and Its Applications, Holden-Day, pp 525.
- Mantua, N.J. and S.R. Hare, Y. Zhang, J.M. Wallace, and R.C. Francis, 1997: A Pacific interdecadal climate oscillation with impacts on salmon production. Bulletin of the American Meteorological Society, 78, pp. 1069-1079.
- Nuñez, M. N., S. Solman and M. F. Cabré, 2008: "Climate change experiments over southern South America. II: Southern South America climate in the late twenty-first century: annual and seasonal mean climate. Climate Dynamics. DOI 10.107/s00382-008-0449-8.
- Organización Internacional de la Viña y el Vino (OIV), 2007: Situación y estadísticas del sector vitivinícola mundial.
- Pinto, Manuel, W. Lira, H. Hugalde y F. Pérez , 2009: "Fisiología de la latencia de las yemas de la vid: hipótesis actuales".[en línea] BuscAgro – Directorio temático agropecuario y de ciencias afines [fecha de consulta: 5 de noviembre de 2009]. 16 pág. Disponible en: <http//www.buscagro.com/Detailed/50502.html>. También disponible en: <http//www.uvademesa.cl/ARCHIVOS%20PDF/Fisiologia%20Latencia%20Yemas%20Vid.pdf>
- Sotés, Vicente, 2003: Los sistemas vitícolas – Factores Naturales de Producción, España
- Zhang, Y., J.M. Wallace and D.S. Battisti, 1997: ENSO-like Interdecadal Variability: 1900-93. Journal of Climate, Vol. 10, 1004-1020.

LAS CABECERAS DEL RÍO SANTA MARÍA, NEVADOS DE CATREAL, RESERVAS HÍDRICAS EN PERMAFROST ANDINO

Ana Lía Ahumada (1, 2)
Gloria Patricia Ibáñez Palacios (2)
Silvia Verónica Páez (2)
(1) CONICET, Miguel Lillo , 251, 4000, San Miguel de Tucumán, Argentina, ana-ahumada@argentina.com
(2) Fundación Miguel Lillo, Miguel Lillo , 251, 4000, San Miguel de Tucumán, Argentina.

Palabras Claves
- Recursos hídricos
- Permafrost discontinuo
- Glaciares de escombros

Resumen
El incremento de las temperaturas globales pone en peligro las fuentes de agua dulce continentales en forma de hielo o permafrost. Las regiones áridas o semiáridas de los Andes Centrales manifiestan mayor labilidad a estos cambios y deben ser reconocidas debido a los potenciales efectos del calentamiento global en la estabilidad de las laderas y su incidencia en la calidad del agua.

En las nacientes del Río Santa María, Nevados de Catreal, (entre los 26º 6' y 26º 15'S) se determinaron áreas con permafrost andino: glaciares de escombros, acuíferos de altura congelados y geoindicadores de calentamiento global.
Las metodologías utilizadas para su identificación y medición fueron la interpretación de fotografías aéreas a escala 1:50.000 y la utilización de imágenes satelitales según normas establecidas por la Internacional Permafrost Association.

Se determinaron glaciares de escombros según su origen: glaciar y de talud. Entre los de talud, indicadores de permafrost discontinuo, se han identificado protalus, de talud, en forma de lengua y espatulados. Los frentes activos exponen preferencialmente al SE, SW y S y a veces al NE. Altitudinalmente se encuentran entre 4.254 y 4.898 m s.n.m. Este trabajo pretende aportar al conocimiento del origen del agua dulce en las altas cuencas del Río Santa María, contribuyendo a la información de base necesaria para la programación de proyectos de desarrollo sustentable en las poblaciones de la zona, ya que la presencia de estas geoformas trae aparejada una serie de nuevas precauciones en el manejo de agua y suelo de la región.

Introducción
Desde hace unas décadas con el incremento de la población mundial y su migración a los centros urbanos la provisión de agua dulce se ha transformado en un problema global: una demanda creciente y un suministro decreciente, agravado por el efecto del Calentamiento Global.

Los efectos del Cambio Climático Global afectan fuertemente los parámetros físicos que condicionan la estabilidad de la Criósfera del planeta.

La criósfera es el sistema de la Tierra que permanece congelado por un año o estacionalmente. Está constituída por la cobertura de nieve, mares, lagos y ríos congelados, glaciares, calotas glaciales y suelos permanentemente congelados o permafrost y es el medio en donde se concentran los mayores porcentajes de agua dulce en estado sólido del planeta y concentra hasta el 75% de sus reservas globales.

La mayoría se encuentra en Antártida y en Groenlandia. Pero las reservas con menor superficie, los glaciares de montaña, tienen mayor impacto debido a su vecindad y a la dependencia directa con los asentamientos humanos.

Las montañas son los ambientes más sensibles de nuestro globo y son tomadas como indicadores de Cambio climático. En el futuro, debido a su baja densidad poblacional y al uso turístico frecuente, serán objeto de observaciones de primera magnitud con respecto a la criósfera. Por un lado, por los costos para mantener grandes empresas turísticas de altura (pistas de esquí, por ejemplo). Pero por otro lado, y de mayor importancia, por aquel concepto desarrollado por Messerli e Ives (1997) que definieran a las montañas como las torres de agua del mundo. Las regiones de montaña concertan muchos intereses humanos, pero en lo que respecta al uso de la criósfera, en particular el agua, su gestión es poco clara. Por ejemplo: La producción de energía hidroeléctrica con seguridad óptima no es obvia en el largo tiempo, con el descongelamiento de los glaciares, ya que se incrementarán

los caudales y la sedimentación y habrá un aumento en la inestabilidad de las pendientes. Al disminuir la resistencia mecánica de las laderas por descompresión, se generarán desastres naturales como movimientos en masa o flujos de detritos. De igual manera el descongelamiento del permafrost facilitará la erosión de las laderas y deslizamientos. (De Jong, 2007). Estos sucesos generarán grandes cambios en las comunidades de montañas y próximas generando modificaciones en sus economías, por lo que se hace cada vez más necesario tener un conocimiento concreto de las regiones que podrán ser afectadas y generar mecanismos de prevención de riesgos y disminución de vulnerabilidad regional.

En alta montaña rocas y suelos permanecen congelados todo el año. Estas zonas, con permafrost discontinuo o insular en muchos casos, están modificándose actualmente a una velocidad alarmante. Los países con cadenas montañosas de altura se encuentran afectados para su desarrollo por este ambiente natural: si se desestabilizan las paredes rocosas y las altas pendientes de montaña, las regiones habitadas en niveles topográficos inferiores, están expuestas a desastres naturales que las afectarán integralmente.

Los glaciares y el permafrost reaccionan rápidamente a aumentos de temperatura debido a su relación directa con el punto de descongelamiento. El calentamiento global del siglo XX ha incidido marcadamente en las regiones glaciales y periglaciales de alta montaña del mundo, indicando una tasa acelerada de cambio (Haeberli y Beniston, 1998). Si este régimen climático se mantiene, se puede producir la desaparición de glaciares de montaña y el descongelamiento profundo de suelos permanentemente congelados (permafrost) (Watson y Haeberli, 2004).

En la Cordillera de los Andes las temperaturas del siglo XX se han incrementado en 0,62º C entre 1.901-1.997, aumentando en 0,4 grados por encima de lo esperado durante los 90. Estas temperaturas tienden a reflejar la señal de calentamiento global. Entre 30ºS y 30ºN se ha medido entre los años 1958-1990, un fuerte ascenso del nivel de congelamiento del aire que varía entre 100 a 150 m (Díaz y Graham, 1996). Francou, (en: Hansen, 2002) tras 20 años de investigación en glaciares de los Andes de Perú, Bolivia y Ecuador predice que en los primeros 15 años de este siglo el 80% de los glaciares de América del Sur desaparecerán. Adjudica el rápido retroceso de los glaciares de Ecuador en los 80, al calentamiento del Océano Pacífico (Francou, 2006). Actualmente la desaparición del hielo del Glaciar Chacaltaya (Edson Ramírez, marzo de 2009) hace evidente la aceleración del proceso predicho, La Criósfera se encuentra representada en las altas montañas del NW argentino por la presencia de permafrost discontinuo, el que se manifiesta topoclimáticamente en el paisaje con glaciares de escombros y una asociación de geoformas menores generadas por el congelamiento permanente o estacional de los suelos.

Los glaciares de escombros activos, indicadores de permafrost discontinuo, se encuentran ubicados en la región de S a N, en alturas desde 4.000 a 4.850 m s.n.m. Los glaciares de escombros son importantes por que producen un volumen de agua semejante al generado por glaciares de hielo; el agua que liberan tiene menos material suspendido que la de los glaciares y su núcleo de hielo se encuentra protegido de manera que serían más resistentes en el tiempo a las modificaciones de temperatura de altura. Sus condiciones de estabilidad geoecológica en el NW de Argentina son resilientes todavía, a las modificaciones de la temperatura en altura según las observaciones de estos últimos años realizadas por las autoras de esta presentación (Ahumada et al, 2006).

En las nacientes del Río Santa María, Nevados de Catreal, (entre los 26º 6' y 26º 15') se determinaron áreas con permafrost andino: se identificaron geoformas de glaciares de escombros, los que son considerados acuíferos de altura congelados y se utilizan como geoindicadores de calentamiento global.

Este trabajo pretende aportar al conocimiento de las fuentes de origen en las altas cuencas del Río Santa María, contribuyendo a la información de base necesaria para la programación de proyectos de desarrollo sustentable en las poblaciones de la zona, ya que la presencia de estas geoformas trae aparejada una serie de nuevas precauciones en el manejo de agua y suelo de la región. (Figura 1). Hay que destacar que el desconocimiento de estos procesos y su importancia en la provisión y regulación de recursos hídricos es notable a la hora de realizar evaluación para proyectos de presas para riego, por ejemplo.

Características del permafrost. Su sensibilidad a los cambios climáticos.

El permafrost es una condición térmica: si los suelos permanecen congelados permanentemente por más de dos años se denominan permafrost (International Permafrost Association, 1994); su formación, persistencia o desaparición son altamente dependientes del clima. Su distribución, temperatura y espesor son afectados por cambios ambientales naturales y disturbios antropogénicos que causen alteraciones en el régimen térmico del suelo. Cambios en la temperatura del aire y/o precipitación, modificaciones de la superficie por desmonte, remoción de la materia orgánica aislante, incendios forestales, migración de cauces, etc. pueden producir modificaciones en su régimen térmico.

No todo el permafrost existente en la actualidad está en equilibrio con el clima actual. En las regiones de permafrost discontinuo, donde la temperatura del permafrost está cerca de 1-2° C del descongelamiento, el permafrost puede fácilmente desaparecer como resultado de los cambios en la temperatura del suelo asociados al calentamiento climático global. Estas inestabilidades pueden provocar serios daños en el paisaje, el ecosistema y la infraestructura de las regiones afectadas.

Figura 1: Imagen de ubicación del área de estudio extraída de Google Earth 2009.

La interacción entre el clima sobre el suelo y el clima debajo del suelo es compleja, y dependiente de algunos factores, muchos de los cuales son afectados por los cambios climáticos. Los cambios climáticos que ocurren sobre el suelo, son muchas veces amortiguados debajo del suelo por el efecto aislante de la vegetación, materia orgánica o la cubierta de nieve. Generalmente hay un retardo entre las modificaciones de la temperatura de superficie y el cambio de temperaturas del permafrost en profundidad: si el permafrost es espeso este retardo puede ser del orden de cientos o miles de años, si el permafrost es fino, años o décadas. Siendo este último el caso del área de trabajo.

Glaciares de escombros. Descripción.

Los glaciares de escombros son geoformas criogénicas que constituyen el permafrost discontinuo o insular en las altas montañas del mundo. Son mesoformas sedimentarias formadas por rocas y detritos congelados, con hielo lenticular e intersticial que se mueven pendiente abajo muy suavemente, a bajas velocidades (0,1 – 1,0 ma-1), por medio de deformación plástica y reptación del permafrost (Barsch, 1969; Corte, 1976).

Los glaciares de escombros se caracterizan por el desarrollo de arrugas, surcos y lomadas paralelas a la dirección del flujo y por una pendiente frontal cercana al ángulo de reposo (35º - 40º). Su parte superior está cubierta, usualmente, por grandes clastos (0,1 – 5,0 m). Suman además, zonas de hoyos o depresiones, que se observan a veces y que se considera que son provocadas por el descongelamiento parcial o completo de los cuerpos de hielo interno. Los glaciares de escombros activos son comunes en las altas montañas y en los polos, y se ha descrito y estudiado su presencia en regiones de condiciones climáticas templadas y tropicales, tal el caso de esta presentación. Los glaciares de escombros se presentan debajo de la línea de nieve y por arriba del límite inferior del permafrost discontinuo y han sido contemplados como geoformas características de climas continentales (Haeberli, 1985). Sin embargo, se han presentado numerosos casos en ambientes marinos (Eyles, 1978; Humlum, 1982).

El modelo climático que representa la actividad de los glaciares de escombros fue definido por Haeberli (1985): El límite superior de precipitación anual para la formación de glaciares de escombros es de 2.500 mm anuales y -2º C de temperatura y el inferior, 400 mm anuales y -15ºC de temperatura.

Los glaciares de escombros han sido clasificados de acuerdo con su génesis u origen en glaciares de escombros de talud u origen criogénico y glaciares de escombros de origen glaciar o glacigénico. Los de talud o criogénicos (cuya génesis depende de procesos de permafrost exclusivamente) han sido clasificados por su morfología: con forma de lengua, lobulados y espatulados o complejos. Los glaciares de escombros de talud se identifican también, según sus condiciones de movimiento en: activos, cuando presentan un frente con pendientes que superan lel ángulo de reposo y contienen cantidades importantes de hielo moviéndose valle abajo con las velocidades descritas en un párrafo anterior; inactivos , cuando todavía contienen hielo, pero no manifiestan movimiento y relícticos o fósiles cuando ya no contienen hielo porque se descongeló y la superficie, en especial cuando la pendiente frontal ha disminuido su angularidad y generalmente se encuentra cubierta con vegetación. Son acumulaciones rocosas cementadas por hielo en proporciones variables de 40-60% de escombros y un 60-40% de hielo respectivamente. Los glaciares de escombros secundarios o de origen glacigénico están constituidos por un núcleo de hielo glacial

cubierto por escombros en los cuales se pueden identificar zonas de termokarst. Son sectores de glaciares de escombros secundarios (Corte, 1976) que se caracterizan por la presencia de hundimientos, lagos, cavernas, túneles y depresiones producto de la degradación del permafrost discontinuo por descongelamiento del hielo interno. Este último proceso es favorecido por el incremento de la temperatura superficial y la presencia de una cobertura de detritos de poco espesor.

Estas mesoformas criogénicas construyen un importante mecanismo de transporte del detrito donde la glaciación activa está ausente y proveen de un caudal de agua durante el año en los altos valles donde la precipitación es mínima.

El rol de los glaciares de escombros en el sistema hidrológico de los ambientes de alta montaña del mundo ha sido muy estudiado debido a su importancia como reservorio de agua dulce a largo plazo (Corte, 1976, 1978, Haeberli, 1985, Giardino et al 1992, Clow et al, 2003; Brenning, 2005). La descarga de glaciares de escombros activos está caracterizada por variaciones anuales estacionales. Se sostiene que el régimen de agua proveniente de hielo subterráneo es más uniforme que el de los glaciares y ventisqueros (Trombotto et al 1999).

La presencia de permafrost discontinuo en el NW de Argentina.

La caracterización de pisos altitudinales de acción periglacial fue definida regionalmente para estas latitudes por Garleff y Stingl (1983).

En la región de Puna del NW argentino Catalano (1927) señaló la presencia de masas rocosas aglomeradas por hielo que fluían por gravedad a modo de un glaciar, similitud que lo indujo a nominar dichos aparatos como litoglaciares.

Igarzábal (1982) detecta la presencia de núcleos de hielo cubiertos por detrito ubicadas en las cumbres del Nevado de Queva (6.130 m s.n.m.) y el Co Granadas (5.705 m s.n.m.) señalando que los mismos mantienen precarios cursos permanentes. Los denomina depósitos glaciolíticos. En la región del Acay y los Nevados de Palermo-Cachi, Igarzábal (1982) realiza un inventario de glaciares de escombros activos e inactivos, encontrando el límite inferior de los glaciares de escombros en 4500 m s.n.m.. Strecker (1987) es el primero en reconocer glaciares de escombros en los Nevados de Chuscha, sin describir su área de distribución ni sus categorías de clasificación, realizando un importante aporte para el conocimiento de la región. Schellenberger et al. (1998) determinan para la ladera oriental de la Sa. de Cachi glaciares de escombros activos en 4.650 m s.n.m. y en la ladera occidental en 4.850 m s.n.m.

En la Sierra de Santa Victoria, Corte et al. (1982) efectúan el reconocimiento geomorfológico de glaciares de escombros activos a 4.300 m s.n.m.. En la misma región Zipprich et al. (1998) distinguen tres generaciones sucesivas de glaciares de escombros, con glaciares de escombros activos actualmente (sin mencionar la altura), y determinan un descenso del límite de procesos periglaciales de aproximadamente 700 m y de 6º C de temperatura acaecido alrededor de 27.979 ±190B.P. Ahumada et al. (2000) delimitan pisos altitudinales de procesos periglaciales en la Cuenca del río Los Reales (Sa. de Aconquija), definiendo dos niveles de procesos periglaciales. El inventario de glaciares de escombros de la ladera oriental de la Sa. de Aconquija (2005a) indicando el límite más bajo de actividad en 4.000 m s.n.m., y en el mismo año se calcula el volumen de agua contenido aproximadamente, en estas geoformas (2005b). Ibáñez Palacios y Ahumada (2006) recientemente delimitan dos regiones altitudinales de acción periglacial en el Parque Nacional Los Alisos: un nivel inferior, entre 2.000 y 4.000 m s.n.m. de congelamiento estacional y un nivel superior, de 4.000 a más de 5.000 m s.n.m. con congelamiento permanente. Páez y Ahumada (2006) identifican glaciares de escombros activos a 4.500 m s.n.m. en el Río Cerrillos, en el borde septentrional de la diagonal semiárida, definiendo permafrost discontinuo en una cuenca de altura de la vertiente seca de la Sierra de Aconquija.

Metodología

Se realizó la identificación y determinación de la distribución de glaciares de escombros y formas asociadas en los Nevados de Catreal mediante la interpretación de fotografías aéreas de la región, las que fueron realizadas en la década del 60–70 a escala 1:50.000 y el control con imágenes satelitales recientes. Estas regiones de montaña presentan grandes dificultades de acceso, lo que implica altos costos de exploración. Es por ello que en vista de los avances de las técnicas de teledetección y la precisión de las mediciones alcanzadas, se utilizan estas técnicas (Brenning, 2005) dejando para otras exploraciones específicas (geofísica, geoeléctrica, etc) las tareas de campo. Han sido utilizadas ampliamente para detectar permafrost en Marte, hallazgo que proporcionó los primeros indicios de agua en el vecino planeta. El seguimiento de glaciares de escombros para ser utilizados como reservas hídricas se realiza mediante fotointerpretación e interpretación secuencial de fotografías (Figura 2) e imágenes satelitales.

Figura 2- Fotografía aérea de la región de los Nevados de Catreal- con glaciares de escombros de talud: en forma de lengua, lobulados y espatulados o complejos. También se observan glaciares de escombros de origen glacigénico con sus facies de termocarst y morenas.

Se identificaron los distintos tipos de glaciares de escombros y se realizaron mediciones preliminares. De la determinación de ubicación, exposición y geomorfología se obtuvieron diferentes geoformas que fueron clasificadas según su génesis. Luego se clasificaron según su forma. A su vez se determinó la altura de los frentes activos lo que permitió establecer el nivel inferior de permafrost discontinuo de la región.
Se reconoció el área general de distribución de glaciares de escombros en base a la interpretación de imágenes. La misma ocupa una región general de 447km2.

Resultados

En las nacientes del Río Santa María, Nevados de Catreal, (entre los 26º 6' y 26º 15') se determinaron áreas con permafrost andino: glaciares de escombros, acuíferos de altura congelados y geoindicadores de calentamiento global. La superficie reconocida en la región ocupa aproximadamente 447km2. Se determinaron glaciares de escombros según su origen: de origen glaciario o glacigénico y criogénicos o de talud. Entre los de talud, indicadores de permafrost discontínuo, se han identificado: protalus o embrionarios, en forma de lengua, espatulados y lobulados o complejos. Los frentes activos exponen preferencialmente al SE, SW y S y excepcionalmente al NE. Altitudinalmente se encuentran activos entre 4.254 y 4.898 m s.n.m.

Los glaciares de escombros secundarios se encuentran en niveles desde 4.300 m s.n.m., cubriendo el fondo de antiguos valles glaciados, con facies de termocarst en coexistencia con los glaciares de escombros primarios.

Los depósitos morénicos de antiguas glaciaciones también fueron determinados, ya que contienen núcleos de hielo en ambientes periglaciados. Se encuentran desde alturas de 3.703 m s.n.m.

Conclusiones

En la región de cabeceras del río Santa María se han localizado importantes geoformas de permafrost andino: glaciares de escombros de génesis glacial y criogénicos cubriendo un área regional de aproximadamente 447km2. Entre los glaciares de escombros criogénicos se han identificados distintos tipos de formas: protalus o embrionario, de talud, en forma de lengua, espatulados y lobulados o complejos.

Los glaciares de escombros de origen glacial presentan mayor extensión y presentan en algunos casos facies de termocarst, evidenciando una degradación del sistema climático de preservación.

La altura mínima de localización de frente activo en glaciares de escombros de talud activos es de 4.285 m. s.n.m. Esta altura establece el nivel inferior del permafrost discontinuo en los Nevados de Catreal. Es necesario realizar monitoreo de temperaturas del aire y de capa activa con objeto de establecer las condiciones físicas de estabilidad de estas geoformas. A la luz de la información climática regional proveniente de mapas climáticos de gran escala, las condiciones de estabilidad serían resilientes (Ahumada et al. 2005a) ante la temperatura del aire actual.

Este trabajo pretende aportar al conocimiento de las fuentes de origen del agua dulce en las altas cuencas del Río Santa María, contribuyendo a la información de base necesaria para la programación de proyectos de desarrollo sustentable en las poblaciones de la zona, ya que la presencia de estas geoformas trae aparejada una serie de nuevas precauciones en el manejo de agua y suelo de la región. El impacto del calentamiento global en elementos de la criósfera en las montañas probablemente genere importantes derivaciones en lo social y económico. Los cambios en la precipitación nivea y en la extensión de los glaciares pueden modificar el régimen hidrológico e impactar en los recursos hídricos.

Bibliografía

- Ahumada A. L., Ledesma, F .C.; Ibáñez Palacios, G. P.; Delgado, M. y Jiménez, M. J., 2000. Una evaluación de riesgo potencial en la región NE de la Sierra del Aconquija Tucumán, Argentina. IX Congreso Geológico Chileno. Actas, 1:16-20.

- Ahumada Ana Lía, 2002. Periglacial Phenomena in High mountain Areas in the NW ofArgentina.South African Journal of Science. V. 98, p:1-5.
- Ahumada, A. L., Ibáñez Palacios, G. P. y Páez, S. V., 2004. Cambios climáticos, variaciones de la sedimentación en cuencas de alta montaña en el Norte de Argentina. X Reunión Argentina de Sedimentología, San Luis, Actas:12.
- Ahumada, A. L., Ibáñez Palacios, G. P. y Páez, S. V., 2005a. High Mountain permafrost in the argentine subtropics. 19th Colloquium on Latin American Geosciences. Potsdam, Berlin. Terra Nostra 1: 9.
- Ahumada, A. L., Ibáñez Palacios, G. P. y Páez, S. V., 2005b. Los glaciares de escombros en el Noroeste Argentino, acuíferos de altura en riesgo ante los cambios globales. XX Congreso Nacional del Agua, CONAGUA-2005, III Simposio de Recursos Hídricos del Cono Sur. Versión en Cd, Mendoza.
- Ahumada, A. L., Páez, S. V. e Ibáñez Palacios, G. P., 2006. Rock Glaciers in the Andean Criolithozone at the 27ºS. Symposium on Climate Change: Organizing the Science for the American Cordillera (CONCORD). Mendoza: 51-52.
- Barsch, D., 1969. Studien und Messungen an Blockgletschern in Macun, Unterengadin. Zeitschrift für Geomorphologie, Supplementband 8: 11-30.
- Brenning, A., 2005. Geomorphological, hydrological and climatic significance of rock glaciers in the Andes of Central Chile (33º-35ºS). Permafrost and Periglacial Processes 16:231-240.
- Catalano, L .R., 1927. Datos hidrológicos del Desierto de Atacama. Boletín de la Dirección General de Minas, Geología e Hidrología. Publicación 35: 1-55.
- Clow, D.W., Schrott, L., Webb, R., Campbell, D.H., Torizzon, A., y Dornblaser, M. 2003. Ground Water occurrence and contributions to streamflow in an alpine catchment, Colorado Front Range. Ground Water 41: 937-950.
- Corte, A. E. 1976. Rock Glaciers. Biuletyn Periglacjalny 26: 157-197.
- Corte A. E.; Trombotto D. T. y Ahumada A. L., 1982. Relevamiento de la geomorfología criogénica del NW Argentino. IANIGLA-CONICET Informe 50p.
- De Jong, C. 2007. Cryosphere- a CRY for our SPHERE?. Geophysical Research Abstracts, 9: 10760.
- Díaz, H.F. y Graham, N.E. 1996. Recent changes in tropical freezing heights and the role of sea surface temperature. Nature 383: 152-155.
- Eyles, N., 1978. Rock glaciers in Esjufjøll nunatak area, Iceland. Jøkull 28: 53-56.
- Francou B., 2006. Mass balance evolution of glaciers in the tropical Andes over the last decades: Inference for climate evolution. Symposium on Climate Change: Organizing the Science for the American Cordillera (CONCORD). Mendoza: 19-20.
- Garleff K. y Stingl H., 1983. Hangformen und Hangformung in der periglazialen Höhenstufe der argentinischen Anden zwischen 27° und 55° südlicher Breite. In: "Mesoformen des Relievs im heutigen Periglazialraum" (Leitartikler: Posser y Schunke), Göttingen: 425 - 434.
- Giardino, J. R., Vitek, J.D., Demorett, J.L., 1992. A model of water movement in rock glaciers and associated water characteristics. In: J.C. Dixon, A.D. Abrahams (eds.).Periglacial Geomorphology. Wiley, Chichester, :159-184.
- Grabher G., Gurung B., Dedieu J. P., Haeberli W., Hohenwallner D., Lotter A., Nagy L., Harald P. y Pseunner R., 2005. Long-term environmental observations in Mountain Biosphere Reserves: Recommendations from the EUGLOCHAMORE Project, Mountain Research and Development, 25: 376-383.
- Haeberli, W., 1985. Creep of mountain permafrost: internal structure and flow of alpine rock glaciers. Mitteilungen der Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie, ETH, Nr. 77: 142 p., Zürich.
- Haeberli, W. y Beniston, M., 1998. Climate Change and its impacts on glaciers and permafrost in the Alps. Ambio 27(4):258-265.
- Hansen E., 2002. Hot Peaks. Earth, p. 8.
- Humlum O., 1982. Rock glaciers types. Greenland. Geografisk Tidsskrift 82: 59-66.
- Ibáñez Palacios G. P. y Ahumada A. L., 2006. Delimitation of the geocryogenic processes and associated geomorphic belts in Los Alisos National Park, Tucumán. International Symposium: Regional Climate Variations in South America over the late Holocene: PAGES New Initiative. Malargüe, Argentina: 76.
- Igarzábal A., 1982. El relieve de la Puna argentina. Revista del Instituto de Ciencias Geológicas, 5: 45-66.
- Messerli, B. and Ives, J.D. (eds.), 1997: Mountains of the World. A Global Priority. Parthenon, New York and London: 495 p.
- Páez, S. V. y Ahumada, A. L. 2006., Rock glaciers in the Río Cerrillos Basin, Catamarca Province. International Symposium: Regional Climate Variations in South America over the late Holocene: PAGES New Initiative. Malargüe, Argentina: 76.
- Schellenberger, A.; Mailänder, R.; Stingl H. y Veit, H., 1998. Investigations on Late Quaternary landscape and climate evolution en la Sierra de Cachi (Province of Salta, NW-Argentina). En 16º Geowissenschaftliches lateinamerika-Kolloquium. Terra Nostra 5: 144-145

LA IMPORTANCIA DE LA COLECCIÓN DE REFERENCIA PARA LOS ANÁLISIS ANTRACOLÓGICOS, EN EL SUR DE MENDOZA

Andreoni, Diego Fernando(1)

(1)Museo Municipal de Historia Natural de San Rafael Parque Mariano Moreno s/n San Rafael Mendoza Argentina y Municipalidad de Malargüe-CONICET

Introducción

El registro arqueológico en el sur de Mendoza ha sido estudiado desde distintas perspectivas que han incluido los materiales líticos (Pérez Winter 2008, Bonnat 2009), faunísticos (Neme y Gil 2008), carpológicos (Llano 2005, 2008) y cerámicos (Sugraña 2009), entre otros. Se considera de importancia que esta información sea complementada con el análisis del material leñoso carbonizado. Se espera que los estudios antracológicos aporten datos complementarios referidos a la comprensión tanto de las estrategias humanas relacionadas con la obtención de madera para distintas finalidades (Pique i Huerta 1999, Marston 2009), como de las condiciones ambientales del pasado (Wilcox 2002).

Los restos leñosos carbonizados, especialmente los combustibles, provenientes de sitios arqueológicos han sido en varias ocasiones utilizados como indicadores de la composición florística de una región dada la presunción, generalmente acertada, de que la gente utiliza para este fin aquellos recursos fácilmente disponibles (Badal 1992/93/94, Chabal 1992, Newton 2005). Sin embargo, se sabe que los procesos de gestión/selección cultural, las condiciones de carbonización (Badal et al. 2003) y los procesos posdepositacionales que influyen en la preservación de los restos (Pearsall 2000) hacen que los restos se preserven en diferentes condiciones y que sus asociaciones no sean un reflejo exacto de la fisonomía regional.

Para entender cabalmente estas cuestiones, no sólo se requiere una correcta identificación de los carbones arqueológicos, la cual está íntimamente relacionada con el conocimiento detallado de la vegetación de una región, sino de reconstruir las prácticas humanas y los procesos que dieron origen a esas asociaciones. Por ello, es imprescindible la confección de una colección de referencia, que más allá de ser utilizada para la identificación del material arqueológico a través del registro los caracteres anatómicos de cada taxa, sea elaborada por medio de la experimentación, replicando dentro del laboratorio tanto las condiciones ambientales bajo las cuales se produjo la colecta de la madera previa a su utilización como combustible (distintos contenidos de humedad), como las condiciones bajo las cuales se produjo la combustión (distintas temperaturas de carbonización).

El presente trabajo se propone tres objetivos, el primero es dar a conocer la metodología utilizada para la elaboración de una colección de referencia de especies leñosas del sur de la provincia de Mendoza, en segundo lugar mostrar la importancia de la misma en la correcta identificación de los carbones procedentes de sitios arqueológicos y finalmente destacar su potencial para interpretar las prácticas sociales relacionadas con la obtención de la madera.

Como un aporte complementario al conocimiento de la vegetación de la región se presenta la descripción anatómica de los taxa recolectados hasta el momento, teniendo en cuenta que las plantas aquí descriptas son solo las primeras muestras recolectadas y procesadas de un estudio a largo plazo.

Área de estudio

En el sur de Mendoza ocurrieron cambios climáticos durante el Holoceno que afectaron la distribución de la flora y fauna de la región, lo cual fue demostrado a través de diversas fuentes de análisis paleoambientales (Zárate 2002). Se ha registrado un aumento de la temperatura y el derretimiento de las masas glaciares durante la transición Pleistoceno-Holoceno (14000-10000 años AP), durante este periodo la vegetación dominante sería de tipo patagónica. Durante el Holoceno Temprano D'Antoni (1983) infiere que entre el 11000 y algún momento entre el 9000 y los 8000 años AP se habría dado una situación ecotonal entre Monte/Patagonia lo que sugiere que pudo haber ocurrido un lento incremento en la temperatura y el fin de ciclos de congelamiento y derretimiento del periodo previo (Zárate 2002). Durante el periodo comprendido entre los 8000-4000 AP, correspondiente al Holoceno Medio, se produjo un proceso de desertificación, hasta llegar al paulatino establecimiento de las condiciones actuales durante el Holoceno Tardío, desde los 4000 AP hasta la actualidad.

La fitogeográfia actual de la región ha sido descripta por varios autores (Cabrera 1976; Roig 1972; Böcher et al. 1963, 1968, 1972). Según Cabrera (1976) el sur de Mendoza se encuentra comprendido en la región Neotropical, en los Dominios Chaqueño y Andino-Patagónico. Dentro del Dominio Chaqueño hay un predominio de la Provincia del Monte, y en menor escala de la del Espinal. En cuanto al

Dominio Andino-Patagónico, están presentes las Provincias Altoandina y Patagónica. La ubicación de Mendoza y los contrastes topográficos entre altas montañas al oeste y extensas llanuras al este, determinan la existencia de una gran diversidad florística (Cabrera 1976). La Provincia del Monte se localiza al NE y representa la mayor parte de la flora de la región. Hacia el sudeste se encuentra la transición con los taxa representantes de la Provincia del Espinal. La Provincia Altoandina ocupa el sector andino, con su límite inferior entre los 2200-2300 m.s.m. y el superior entre los 4200-4500 m.s.m., considerado éste el límite de la vida vegetal (Cabrera 1976). La Provincia Puneña se encuentra en la precordillera mendocina donde constituye un ecotono con la Provincia del Monte. Esta Provincia está relacionada con la Provincia Patagónica por elementos comunes y también con la Provincia Altoandina, pero cuenta con diferentes géneros y especies. La Provincia Patagónica, donde se lleva a cabo este trabajo, se extiende desde el centro de la precordillera mendocina hacia el sur, ensanchándose paulatinamente, en su límite este forma un ecotono con la provincia de Monte (Cabrera 1976). Incluye los macizos del Payún y el Nevado. Por el oeste limita con la Provincia Altoandina y al este forma un ecotono con la Provincia del Monte (Cabrera 1976). Martinez Carretero (2006) considera que la región de La Payunia, que fuera considerada por Cabrera (1976) como un Distrito dentro de la Provincia Patagónica, presenta atributos como para ser una provincia fitogeográfica aparte dentro del Dominio Andino-Patagónico (Martinez Carretero 2006). También se propone la revisión de los trabajos de Cabrera (1976) a partir de información publicada por Paez et al. (2004), quien considera que La Payunia debe ser redefinida en base al importante número de endemismos que esta región presenta (Paez et al. 2004).

La temperatura media anual de esta provincia Patagónica oscila entre los 10º C y 15º C en la planicie y entre los 1º C y 5º C en zona de montaña. El régimen de precipitación varía también con el gradiente altitudinal: por encima de los 2000 m.s.m. supera los 1000 mm anuales registrándose el 90% en invierno en forma de nieve, mientras por debajo de los 2000 m.s.m. alcanza los 200 mm anuales (Capitanelli, 2005). La vegetación se caracteriza como una estepa arbustiva dominada por Adesmia pinifolia, Adesmia obovata y Berberis empetrifolia entre otras, coironales de Stipa tenuissina, Stipa speciosa y Stipa chrysofi.

Metodología

La metodología de trabajo consistió en la recolección en campo de taxa pertenecientes a los géneros patagónicos que potencialmente pudieron ser utilizados como combustible, Schinus, Adesmia, Baccharis, Berberis, Chuquiraga, Ephedra, Senna, Mulinum. De dichos taxa se obtuvo un ejemplar de herbario, así como muestras de madera, se registraron los usos dados a cada uno de ellos por parte de las poblaciones actuales del área y se recopilaron datos a partir de fuentes bibliográficas. Se realizaron cortes anatómicos, carbonizaciones artificiales y cálculos de densidad de cada madera. De las muestras de tallo se obtuvieron seis cubos, cuatro de los cuales fueron utilizados para la carbonización a diferentes temperaturas y grados de humedad (ver detalle más abajo), uno para el cálculo de densidad, y el restante se utilizó para obtener los cortes histológicos.

Cortes histológicos

Tacos de madera, de 1,5 cm. de lado aproximadamente, fueron hidratados y hervidos en mezcla de agua con detergente industrial, durante un tiempo que varió entre 2 a 5 horas, dependiendo de la dureza de la madera. Los cortes en los tres planos de observación de la madera (transversal, longitudinal radial y longitudinal tangencial). Se realizaron a mano alzada. Fueron decoloradas durante cinco a diez minutos en hipoclorito de sodio al 50% para eliminar los contenidos celulares, posteriormente fueron lavados en agua destilada durante diez minutos hasta eliminar el hipoclorito de sodio, y luego deshidratados y teñidos con safranina en una serie ascendente de alcoholes (alcohol 50º con safranina al 1%, alcohol 70°, alcohol 80°, alcohol 96°, alcohol 100°, alcohol 100º y xilol en partes iguales y finalmente xilol 100%). Los cortes fueron montados permanentemente en Bálsamo de Canadá artificial. Esta técnica permite teñir de color rojo los tejidos lignificados (Ancibor y Pérez Micou 1995, 2002) Los caracteres cualitativos se observaron en cada plano con la utilización de Microscopio Óptico y fueron descriptos siguiendo los criterios de IAWA (1989) para plantas dicotiledóneas, y de IAWA (2004) para la única Gimnosperma, Ephedra ochreata.

Carbonización

Los cubos de 1,5 cm. de lado aproximadamente fueron carbonizados en una mufla con termocupla digital en las instalaciones del LATYR (Laboratorio de Tritio y Radiocarbono del Museo de Ciencias Naturales de La Plata). Se realizaron carbonizaciones a 700º C y 400º C en atmósfera reductora (crisoles cubiertos de arena). En cada temperatura se carbonizó una muestra que contenía entre un 8% a 12% de humedad y otra con 0%. La primera representaría un leño secado al aire, mientras que la segunda muestra sirve a modo comparativo para evaluar los efectos de la carbonización con grados de deshidratación máxima, los que fueron obtenidos previo secado en estufa a 80º C durante 36 horas en el INFIVE (Instituto de Fisiología Vegetal). Ésta fue pesada en distintos momentos del procesamiento, hasta que no se observaron variaciones en su peso. En todos los casos las muestras fueron pesadas y medidas en el alto, espesor y ancho, antes y después de la carbonización, de este modo se obtuvieron los porcentajes de reducción de las maderas.

Densidad

La densidad de la madera es una característica de importancia a la hora de la selección de la leña, se piensa que maderas más densas pudieron haber contribuido mejor a la manutención de un fuego. En el presente trabajo se obtuvo la densidad básica de cada madera. El procedimiento consistió primeramente en sumergir en agua los tacos de madera durante siete días hasta su saturación. Posteriormente fueron pesados dentro de un recipiente con agua evitando que tocaran los bordes o el fondo, para calcular de este modo el volumen de agua desplazado. Luego, los tacos fueron secados en estufa hasta eliminar todo el contenido de agua de los mismos, y fueron pesados en distintas ocasiones hasta que su peso fue constante. Por último, se calculó el cociente entre el peso anhidro y el volumen de agua desplazada, que representa la densidad básica de la madera (Manzo y Hernández 1997, Prior y Alvin 1986).

Discusión y resultados

Descripción anatómica y usos

Adesmia pinifolia Gillies ex Hook. & Arn.
Nombre común: leña amarilla, coli-mamil

Corte transversal (CTv): Anillos de crecimiento demarcados. Porosidad semi-circular, disposición de vasos en patrón diagonal y/o radial y en menor medida dendríticos. Vasos frecuentemente agrupados. Fibras de paredes muy gruesas. Parénquima axial paratraqueal confluente y axial en bandas marginales (Figura 1a).

Corte longitudinal tangencial (CLTg): Vasos con placas de perforación simples, punteaduras intervasculares escalariformes a opuestas, fibras con punteaduras simples a punteaduras con reborde diminuto (fibras libriformes), no septadas. Células del parénquima fusiformes y elementos de vaso estratificados. Radios celulares de dos tamaños distintos, comúnmente entre 4 y 10 series, aunque algunos de menos de 3 series, de largo mayores a 1mm., radios en agregados celulares. Presenta cristales prismáticos (Figura 1b).

Corte longitudinal radial (CLR): Punteaduras vaso-radio con rebordes visibles, similares a las punteaduras intervasculares en tamaño y forma, a lo largo de las células radiales. Radios compuestos por todas las células procumbentes, y en menor medida, radios con mezcla de células procumbentes, cuadrangulares y erectas (Figura 1c).

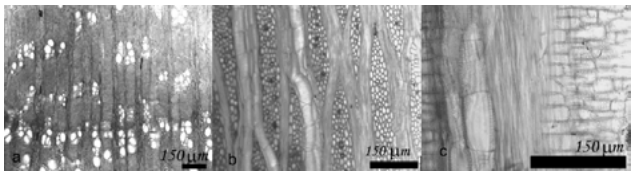


Figura 1: Adesmia pinifolia; a) CTg, b) CLTv, c) CLR

Usos: En Mendoza ha dado origen a la toponimia de Valle de las Leñas Amarillas, región que en la actualidad es conocida simplemente como Valle de Las Leñas, donde A. pinifolia constituye extensas comunidades que a medida que alcanzan mayores niveles hipsométricos son sustituidas por comunidades de A. obovata. Las Adesmias en todas partes de la cordillera mendocina, proporcionan la leña que los arrieros y montañeses usan como combustible, de allí que la llaman "la leña" por antonomasia (Ruiz Leal 1972). Este género es usado por los puesteros actuales además para la confección de los corrales de los chivos durante la veranada. Se ha registrado el nombre de "coli-mamil" para A. pinifolia en un puesto a orillas del Río el Desecho, tributario del Rió Salado, dentro de lo que hoy conocemos como Valle de las Leñas, aunque este nombre es desestimado por Ruiz Leal (1972) al considerarlo una traducción errónea del Mapuche. Para dicho autor "coli-mamil" configura una denominación colectiva para arbustos que tienen corteza de color amarillo, reservando este nombre para Anartrhophyllum rigidum (Ruiz Leal 1972). Según el diccionario mapuche (Erize1988) "coli-mamil" es una mala grafía de "collü mamüll" "arrayán" por su traducción de árbol colorado en Chile. Al respecto Groeber (1926), se refiere a "Koli-Mamüll como el nombre dado a diversas especies de Adesmia, especialmente de las mayores como A. longifolia" (Groeber 1926). Al desglosar el nombre vemos que "mamüll" refiere a madera, palo, leña y árbol (Erize1990, Groeber 1926) y "collü" a color rojo (Erize 1990) o "kollü", "kolü", "kolli" "koli", color café claro y oscuro, pardo, bruno, castaño (Groeber 1926). La corteza, tallo y raíz se usan para teñir textiles (Herbario MMHNSR)

Adesmia obovata Clos
Nombre común: cuerno de cabra, choique-mamil

CTv.: Anillos de crecimiento demarcados por bandas de parénquima de 3 a 7 células. Porosidad semi-circular. Vasos en patrón diagonal y/o radial y dendrítico, algunos agrupados. Vasos solitarios de contorno angular. Fibras de paredes muy gruesas. Parénquima axial paratraqueal confluente y parénquima axial en bandas marginales (Figura 2a).

CLTg.: Vasos con placas de perforación simples y punteaduras intervasculares escalariformes a opuestas. Fibras con punteaduras simples a punteaduras con reborde diminuto (fibras libriformes), no septadas. Células del parénquima fusiforme y elementos de vaso estratificados. Radios celulares de 1 a 3 células de ancho la mayoría, en menor cantidad entre 4 a 10 células, de dos tamaños distintos, los más anchos de largo mayores a 1mm. (Figura 2b).

CLR.: Punteaduras entre vasos y radios con reborde visible, similares a las punteaduras intervasculares en tamaño y forma

lo largo de toda la célula radial, radios compuestos de células procumbentes, cuadrangulares y erectas (Figura 2c).

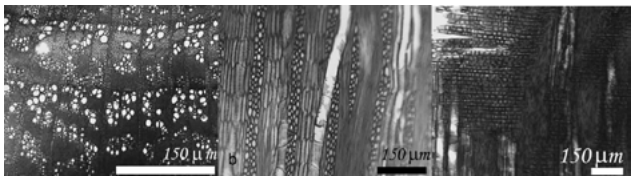


Figura 2: Adesmia obovata a) CTg, b) CLTv, c) CLR

Usos: Su uso como leña fue registrado por el autor durante charlas informales con puesteros de la zona del Río Salado, ésta tendría mejor calidad como combustible que A. pinifolia. Los puesteros designan a A. obovata como "choique –mamil", grafía que posiblemente derive de "choique mamüll", tal como se explica anteriormente.

Adesmia acuta Burkart
Nombre común: choiquesica

CTv.: Anillos de crecimiento demarcados por bandas de parénquima de 2 a 7 células de espesor. Porosidad semi-circular. Vasos en disposición tangencial, radial, diagonal y con patrón dendrítico. Vasos frecuentemente agrupados, los solitarios de contorno angular. Fibras de paredes muy gruesas. Parénquima axial paratraqueal confluente y parénquima axial en bandas (Figura 3a).

CLTg.: Vasos con placas de perforación simples. Punteaduras intervasculares escalariformes y alternas. Fibras con punteaduras simples o con punteaduras diminutas (fibras libriformes), no septadas. Células parenquimaticas fusiformes y elementos de vaso estratificados. Radios la mayoría de entre 4 a 10 células de ancho, aunque, los hay de 1 a 3 células de ancho, de dos tamaños distintos, los más anchos mayores a 1mm de largo. Presenta radios agregados (Figura 3b).

CLR.: Punteaduras entre vasos y radios con reborde visible, similares a las punteaduras intervasculares en tamaño y forma lo largo de toda la célula radial, radios compuestos por células procumbentes, cuadrangulares y erectas (Figura 3c).

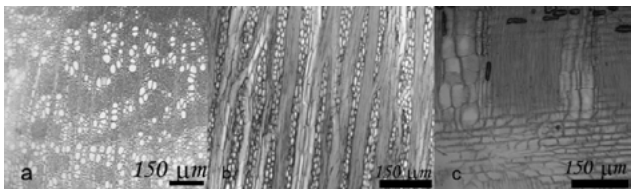


Figura 3 Adesmia acuta: a) CTg, b) CLTv, c) CLR

Usos: aunque no se registran datos bibliográficos ni fue mencionada por los puesteros en forma particular, esta especie seguramente es usada como leña de igual manera que las Adesmias antes mencionadas.

Baccharis neaei DC.
Nombres comunes: pichi de la sierra

CTv.: Anillos de crecimiento demarcados por 1 ó 2 bandas de vasos tangenciales y por fibras achatadas. Porosidad difusa, vasos en bandas tangenciales, diagonales y radiales, y en patrón dendrítico. Vasos agrupados presentes. Fibras de paredes delgadas a gruesas. Parénquima axial paratraqueal confluente acompañando el patrón dendrítico (Figura 4a).
CLTg.: Vasos con placas de perforación simples y punteaduras intervasculates alternas.

Gomas u otros depósitos en vasos, posiblemente resinas. Fibras con punteaduras simples o con punteaduras diminutas, no septadas. Células parenquimáticas fusiformes. Radios de 1 a 3 células de ancho presentes, la mayoría de 4 a 10 células de ancho. Estratificación parcial en vasos, fibras y parénquima (Figura 4 b).

CLR.: Punteaduras entre vasos y radios con reborde visible, similares a las punteaduras intervasculares en tamaño y forma a lo largo de toda la célula radial todas las células procumbentes (Figura 4 c).

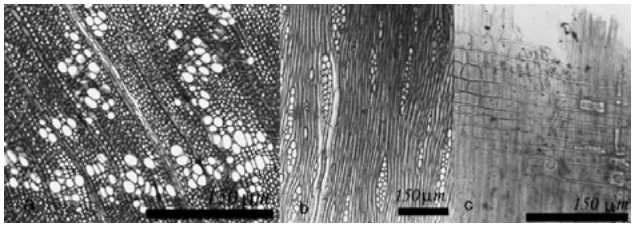


Figura 4: Baccharis neaei: a) CTg, b) CLTv, c) CLR

Usos: no se han hallado registros de uso para esta especie

Berberis empetrifolia Lam.
Nombre común: calafate

Tallo
CTv.: Anillos demarcados, delimitados por una fila de vasos solitarios con patrón ulmoide o festoneado en el leño temprano. Porosidad semi-circular. Vasos en disposición diagonal, tangencial, y dendrítico. Vasos exclusivamente solitarios de contorno angular. Fibras de paredes delgadas a gruesas. Parénquima axial raro, extremadamente raro o ausente (Figura 5 a).

CLTg.: Vasos con placas perforadas simples, punteaduras intervasculares alternas con contorno poligonal. Elementos de vaso con engrosamientos helicoidales a lo largo de todo el vaso. Fibrotraquidas presentes. Radios de 4 a 10 células de

ancho, muchos agregados, de dos tamaños distintos, radios mayores a1 mm. presentes. Se observan cristales prismáticos (Figura 5 b).

CLR.: Punteaduras vaso-radio con reborde visible, similares a las punteaduras intervasculares en tamaño y forma a lo largo de la célula radial, radios compuestos por células procumbentes, cuadrangulares y erectas, con presencia de cristales prismaticos (Figura 5c).

Raíz

La raíz de Berberis empetrifolia (figura 6 a, b y c) se diferencia del tallo en el corte transversal, en que la zona de la albura, los anillos son muy compactos y se desdibuja la porosidad dendrítica. Se observan, además, radios de más de 10 células de ancho (de 15 a 25 células) en el corte longitudinal, mientras el tallo presenta menos de 10.

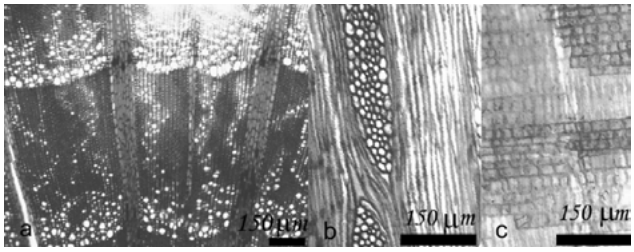


Figura 5: tallo de Berberis empetrifolia; a) CTg, b) CLTv, c) CLR

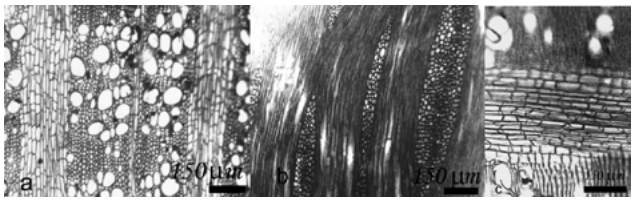


Figura 6: raíz de Berberis empetrifolia; a) CTg, b) CLTv, c) CLR

Usos: la corteza presenta una sustancia llamada berberina utilizada como tintórea y febrífuga (B. oxiacanthina) (Ruiz Leal 1972, Ortiz Garmendia1968). Personalmente se registró el uso de la raíz como leña de muy buena calidad en la región del Valle de las Leñas, además la infusión de dicha raíz es usada como digestivo. La buena calidad de la raíz de de este taxa es mencionada por Ancibor y Pérez Micou (1995, 2002) en el Valle de Piedra Parada en Chubut, y fue demostrada por la experimentación realizada por March (1992). Gusinde (1937 en Pique i Huerta 1999) menciona el uso de astillas o viruta de Berberis junto con plumas y otras hierbas secas, para recoger las chispas de la piritas utilizadas para iniciar los fuegos en Tierra del Fuego, además menciona el uso de la madera de B. illicifolia para la confección de utensilios como mangos y astiles (Gusinde 1937 en Pique i Huerta 1999), lo cual está corroborado arqueológicamente por la recuperación de un arpón realizado en esta madera (Capparelli et al. en prensa).

Chuquiraga oppositifolia D. Don
Nombre común: ardegras, monte chirriador.

CTv.: Anillos demarcados. Porosidad difusa, vasos en ordenamiento tangencial, y levemente dendrítico. Vasos exclusivamente solitarios de contorno angular. Fibras de paredes delgadas. Parénquima axial ausente o extremadamente raro (Figura 7a).
CLTg.: Vasos con placas de perforación simples, punteaduras intervasculares escalariformes a opuestas. Traqueidas vasculares vasicéntricas presentes. Fibrotraqueidas. Radios de 1 a 3 células de ancho. Radios con el cuerpo multiseriado tan ancho como los extremos uniseriados (Figura 7b).
CLR.: Punteaduras entre vasos y radios con reborde visible, similares a las punteaduras intervasculares en tamaño y forma a lo largo de la célula radial, radios compuestos por células cuadrangulares y erectas (Figura 7c).

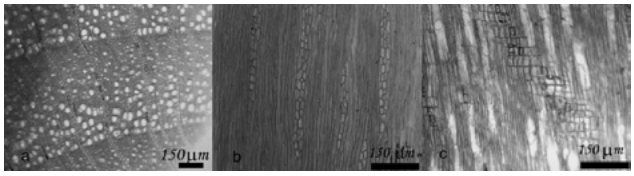


Figura 7: Chuquiraga oppositifolia; a) CTg, b) CLTv, c) CLR

Usos: Comúnmente denominada monte chirriador, nombre que alude a la facilidad con que arde la plata aún verde, chisporroteando, al ser quemada, generalmente in situ (Ruiz Leal 1972). Es usada como combustible, febrífuga, diurética y tónica (Femenias 2009, web site)

Ephedra ochreata Miers
Nombre común: solupe

CTv.: anillos demarcados de transición abrupta, traqueidas de contorno poligonal, la mayoría solitaria, pero también en ordenamiento tangencial de 2-4 traqueidas, presencia de fibrotraqueidas (Figura 8a).

CLTg: punteaduras alternas (2 o más series), traqueidas del leño tardío delgadas, parénquima axial ausente (Figura 8b).
CLR: traqueidas con puntuaciones de 1 a 3 series, campos de cruzamientos cupresoides, traqueidas radiales ausentes, radios de 16 a 30 células de alto, y 2-3 células de ancho (Figura 8c).

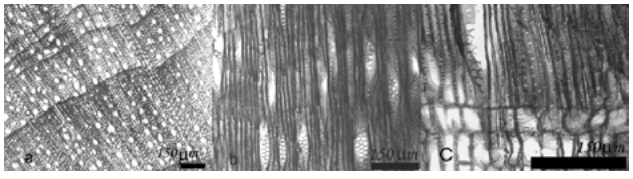


Figura 8: Ephedra ochreata; a) CTg, b) CLTv, c) CLR

Usos: sus frutos son frutos comestibles, no hay registro del uso de la madera.

Mulinum valentini Speg.
Nombre común: sin registrar

Raíz
CTv.: Anillos de crecimiento no demarcados, porosidad difusa, vasos exclusivamente solitarios, en paquetes vasculares de cambium anómalo (Figura 9a).
CLTg.: Vasos con placas de perforación simples, punteaduras intervasculares escalariformes, engrosamientos helicoidales a lo largo de los elementos de vaso (Figura 9b).

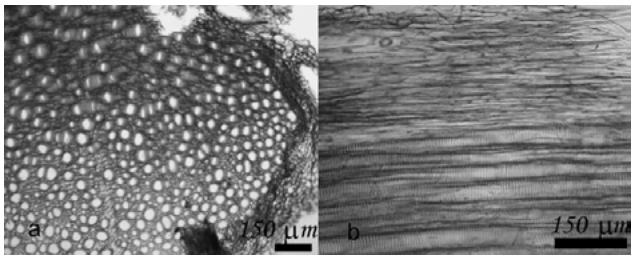


Figura 9: Mulinum valentini; a) CTg, b) CLTv

Usos: la especie mas conocida de este género es M. spinosum, la infusión de raíz de esta tiene propiedades medicinales para aliviar malestares hepáticos y propiedades balsámicas (Roig 2002). En el norte de Chile se utiliza M. crassifolium esta es aplicada como remedio para el resfriado, para la tos, para los pulmones y también para la diabetes. Se le toma en mate reposado, con azúcar quemada, leche y unas gotitas de vino (Villagran 1998).Similares aplicaciones podrían asignarse a M. valentini. Aunque temporalmente no contemos con información especifica.

En cuento a los nombres comunes en el caso de M. valentini no se ha podido registrar un nombre vernáculo especifico, aunque posiblemente esta pueda ser catalogada como yareta o llareta, por su aspecto de cojín compacto nombre que se aplica a distintas especies de Azorella sp. y Laretia acaulis. Por otro lado a M. spinosum se lo conoce como neneo, hierba negra, hierba del soldado, talhuana y dichillo en Chile Roig (2002). En cuanto a M. crassifolium en mapuche se la designa como “chukikandi”, “chukikandia” y “chuchikandia” (Villagran 1998).

Schinus roigii Ruiz Leal & Cabrera
Nombre común: molle blanco

CTv.: Anillos de crecimiento demarcados, madera de porosidad difusa, con vasos con ordenamiento en bandas diagonales y radiales. Vasos radiales múltiples de 4 o más, comúnmente agrupados, vaso de dos clases diamétricas distintas. Fibras de paredes delgadas a gruesas. Parénquima axial extremadamente raro o ausente (Figura 10a).

CLTg.: Vaso con placas de perforación simple, punteaduras intervasculares alternas, con engrosamientos helicoidales a lo largo de todo el elemento de vaso. Fibras con punteaduras de reborde conspicuo, no septadas. Radios con 1 a 3 células de ancho, con el cuerpo multiseriado tan ancho como el extremo uniseriado. Presencia de canales radiales. Cristales prismáticos en células elongadas (Figura 10b).

CLR.: Punteaduras entre vasos y radios con reborde visible, similares a las punteaduras intervasculares en tamaño y forma a lo largo de toda la célula radial. Radios de dos tipos, unos compuestos únicamente por células procumbentes y otros con el cuerpo de células procumbentes y los extremos con una o dos hileras de células cuadrangulares (Figura 10c).

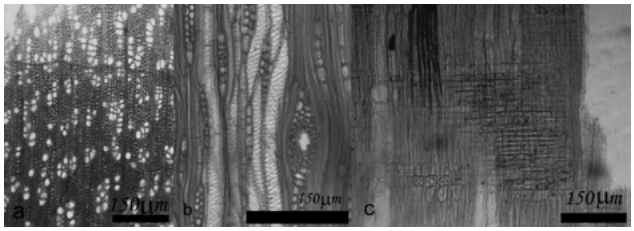


Figura 10: Schinus roigii; a) CTg, b) CLTv, c) CLR

Usos: En la actualidad se usa para confeccionar los postes de los corrales de los chivos en la zona del Valle del Río Salado según comentó un puestero. El género Schinus ha sido ampliamente utilizado como leña. Agüero Blanch (1971) menciona su uso como leña, junto con el algarrobo (Prosopis sp), el chacay (Discaria sp.),”leña de vaca” y “colliguay” o “carrizo” para la confección de cerámicas en el departamento de Malargüe. Otras fuentes consideran que algunas especies como S. poligamus son productoras de excelente leña, y por este motivo ha sido objeto de una extracción exagerada, lo que hace que hoy sea un recurso escaso en ciertos lugares, mientras que en otros ha desaparecido (Soria et al 2007). Según Roig (1987) S. roigii es usado para leña al igual que S. o`donellii. Sus frutos han sido usados en el sur de Mendoza para la elaboración de bebidas, como condimento y para consumirlo fresco. Para teñir se utiliza la decocción de las hojas para dar un color amarillo y con sus raíces se tiñe en la gama de los pardos, dorados y cobrizos, esto depende de la cantidad de molle que se utilice (Hernandez 2002).

Senna arnottiana (Gillies ex Hook.) H. S. Irwin & Barneby
Nombre común: mayo, tara

CTv.: anillos de crecimiento demarcados, en el leño temprano vasos con patrón tangencial y el leño tardío con patrón dendrítico. Porosidad semi-circular. Vasos solitarios de

contorno angular. Fibras de paredes muy gruesas. Parénquima axial paratraqueal confluente siguiendo el patrón dendrítico (Figura 11a).

CLTg.: Vaso con placas de perforación simple. Punteaduras intervasculares alternas. Engrosamientos helicoidales a lo largo de todo el elemento de vaso. Fibrotraqueidas presentes. Células parenquimaticas fusiformes. Radios de 1 a 3 células de ancho y otros de 4 a 10 células de ancho. Radios de dos tamaños distintos, mayores a 1 mm. de largo. (Figura 11b). CLR.: Punteaduras entre vasos y radios con reborde visible, similares a las punteaduras intervasculares en tamaño y forma a lo largo de la célula radial. Radios compuestos por células procumbentes, cuadrangulares y erectas (Figura 11c).

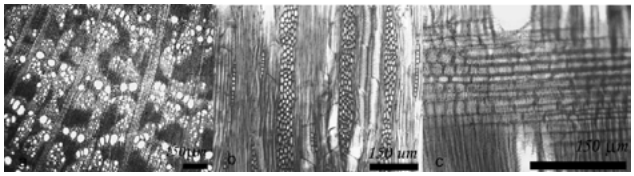


Figura 11: Senna arnottiana; a) CTg, b) CLTv, c) CLR

Usos: respecto de esta especie Ortiz Garmendia (1968) experimento utilizando astillas del duramen para teñir, logrando un color amarillo- rojizo en la región de Chile Septentrional, el esta región se la conoce como tara.

A partir de la descripción anatómica de las maderas se confeccionó una clave dicotómica provisoria (Figura12) que agilizará en el futuro la identificación de material leñoso carbonizado procedente de sitios arqueológicos emplazados en la provincia fitogeográfica Patagónica. La clave fue diseñada en base a criterios cualitativos, ya que las propiedades cuantitativas sufren modificaciones en sus dimensiones, producidas durante la combustión. Esta clave permite la identificación a nivel de género. A nivel de especie sólo se pudo avanzar en la identificación de A. obovata, que se diferencia de A. pinifolia y A. acuta por tener radios compuestos por 1 a 3 células de ancho la primera y radios de 4 a 10 células de ancho las dos últimas respectivamente.

Figura 12: Clave para géneros de la provincia fitogeografica Patagónica

1) Cambium anómalo, vasos exclusivamente solitarios, punteaduras escalariformes----------Mulinum
1`) Cambium normal----------(2)
2) Maderas sin disposición dendrítica, parénquima axial raro o ausente----------(3)
3) Porosidad difusa ----------(4)
4) Vasos con disposición radial abundantes--Schinus
4`) Traqueadas sin disposición radial, la mayoría solitarias aunque algunas múltiples de 2 o 4 en disposición tangencial, traqueadas, campos de cruzamiento cupresoides----------Ephedra
3`) Porosidad semicircular vasos en disposición tangencial en leño temprano, fibrotraqueidas presentes---Chuquiraga
2`) Maderas con disposición dendrítica----------(5)
5) Parénquima confluente siguiendo el patrón dendrítico de los vasos, con o sin parénquima marginal, fibrotraqueidas, muy escasas o ausentes----------(6)
6) Estructura estratificada en vasos y parénquima, punteaduras opuestas y escaleriformes, vasos agrupados presentes----------Adesmia
6`) Sin estructura estratificada en parenquima y vasos, punteaduras alternas, vasos agrupados ausentes----------(7)
7) Con engrosamientos espiralados en los vasos----------Senna
7`) Sin engrosamientos espiralados en vasos, todas las células de los radios procumbentes----------Baccharis
5`) Parénquima escaso o ausente, fibrotraqueidas abundantes----------Berberis

Carbonización

Las carbonizaciones a distintas temperaturas y con distintos contenidos de humedad permiten realizar algunas observaciones en relación a las respuestas diferenciales de las distintas especies, las que han sido tratadas en Andreoni et al. (2009). Algunas de ellas mostraron cambios morfológicos significativos a 700º C (hendiduras en radios y/o anillos al corte transversal) que fueron independientes del contenido de humedad (i.e. Adesmia obovata, Chuquiraga, raíz de Berberis, Schinus y Laretia,), por lo cual podrían servir como indicadores de temperaturas de combustión en especimenes arqueológicos y así contribuir al entendimiento de las características y funcionamiento de los fuegos que le dieron origen.

Otras en cambio, presentaron hendiduras en los radios tanto con bajas como con altos valores de temperatura y humedad (i.e. Senna) o no se mostraron afectados por los mismos (i.e. Ephedra, tallo de Berberis, Adesmia acuta), por lo cual no aportarían información acerca del contenido inicial de humedad de la madera y la temperatura de carbonización.

En la mayoría de las especies las maderas más secas (0% de humedad) presentaron mayor cantidad de hendiduras en radios y anillos que las menos secas (8-12 de humedad), esto es apreciable tanto en carbonizaciones a 400º C, como a 700º. Este reconocimiento del porcentaje de humedad inicial podría aportar información acerca de la humedad relativa del ambiente al momento de carbonización de la madera y potencialmente de la estación en que ésta fue colectada. Con respecto a las modificaciones por carbonización, la mayor reducción en peso, alto, espesor y largo fue observada a 700º C y con los contenidos más elevados de humedad. Por otra parte, a 400º C la mayor reducción en peso y espesor se observa en maderas con contenido de humedad del 8-12%, mientras en que en largo y alto la reducción es mayor en aquellas con 0% de humedad. Aparentemente no existiría una correlación entre densidad de la madera y la reducción o incremento de las dimensiones de los carbones obtenidos.

Densidad

Con respecto a la densidad, excepto lMulinum valentini, el resto de las especies posee densidades bastante homogéneas (Tabla 1). Sin embargo, dentro de las pocas diferencias existentes, al comparar las densidades obtenidas con los registros de usos, tanto actuales como de aquellos procedentes de fuentes bibliográficas, se aprecia que las maderas más densas son las preferidas para ser utilizadas como leña. Es de destacar que la raíz de Berberis que es mencionada por distintas fuentes como una madera de buena calidad, no presenta una de las densidades más altas. Con respecto a la Mulinum, su restricción de uso a regiones donde no existe otra madera de mejor calidad, como la región altoandina, seguramente está dada por la baja densidad de su leño, que se convierte a ceniza rápidamente.

Conclusiones

La confección de la colección de referencia permitió describir anatómicamente cada madera presente en el área de estudio y así confeccionar una clave que agilice la identificación de los carbones arqueológicos. La carbonización experimental permitió individualizar caracteres diagnósticos en determinados taxa que podrían ser indicadores de temperaturas de combustión (i.e. aberturas en radios y anillos en CT de Chuquiraga indicaría altas temperaturas de combustión) y concluir que el deterioro es mayor cuanto menor contenido de humedad posea la madera a quemar. Con respecto a la densidad, excepto la Mulinum, el resto de las especies posee densidades bastante homogéneas. Sin embargo, parecieran coincidir las leñas más utilizadas por los pobladores actuales con aquellas especies de mayor densidad.

Nombre Científico	***Parte***	***Densidad***
Adesmia obovata Clos	Tallo	0,58 gr/cm^3
Ephedra ochreata Miers.	Tallo	0,58 gr/cm^3
Adesmia pinifolia Gillies ex Hook. & Arn.	Tallo	0,57 gr/cm^3
Schinus roigii Ruiz Leal & Cabrera	Tallo	0,57 gr/cm^3
Senna arnottiana (Gillies ex Hook.) H. S. Irwin & Barneby	Tallo	0,55 gr/cm^3
Berberis empetrifolia Lam	Tallo	0,54 gr/cm^3
Baccharis neaei DC	Tallo	0,53 gr/cm^3
Chuquiraga oppositifolia D.Don	Tallo	0,52 gr/cm^3
Adesmia acuta Burkart	Tallo	0,46 gr/cm^3
Berberis empetrifolia Lam	Raiz	0,46 gr/cm^3
Mulinum valentini Speg	Raiz	0,24 gr/cm^3

Bibliografía

- Agüero Blanch V., 1971. La ultima ollera de Malargüe. Anales de Arqueología y Etnología Facultad de Filosofía y Letras de UNC Mendoza Tomo XXVI: 117-123
- Ancibor E. y Pérez Micou C., 1995. Identification of firewood species in the archaeological record of the patagonian steppe. Journal of Ethnobiology 15(2):189-200
- Ancibor E. y Pérez Micou C., 2002. Reconocimiento de especies vegetales combustibles en le registro arqueológico de la estepa patagónica. Plantas y Cazadores en Patagonia. Pag. 15-31. Perez Micou, C. Compiladora. Facultad de Filosofía y Letras UBA
- Andreoni D., Gil A., Capparelli A. 2009 Efectos de la carbonización en especies leñosas de las provincias fitogeográficas Patagónica y del Monte (Mendoza, Argentina): una perspectiva arqueológica En: Traditions and transformations in Ethnobotany, Pochettino, M.L. y A. Ladio eds.Cyted. S.S. de Jujuy. En prensa
- Badal Garcias E., 1992/93/94. L'anthracologie préhistorique: à propos de certains problèmes méthodologiques. Les Charbons de Bois les Anciens Écosystèmes et le rôle de L'Homme. Bulletin de la Société Botanique de France, 139:167-189.Actualités Botanique
- Badal, E., Carrion, Y., Rivera, D. y Uzquiano. 2003. La arqueobotánica en cuevas y abrigos: objetivos y métodos de muestreo. En: La recogida de muestras en arqueobotánica: objetivos y propuestas metodológicas. La gestión de recursos vegetales y la transformación del paleopaisaje en el Mediterráneo Occidental. Encuentro del Grupo de Trabajo de Arqueobotánica de la Península Ibérica. Barcelona/Bellaterra, 2000 Pp.19-29. Barcelona
- Böcher, T., Hjerting J., Rahn K., 1963. Botanical studies in the Atuel Valley area, Mendoza province, Argentina. Dansk Botanisk Arkiv 22(1):1-115 Copenhagen. Ejnar Munksgaard
- Böcher, T., Hjerting J., Rahn K, 1968. Botanical studies in the Atuel Valley area, Mendoza province, Argentina. Dansk Botanisk Arkiv 22(2):1-178 Copenhagen. Ejnar Munksgaard.
- Böcher, T., Hjerting J., Rahn K, 1972. Botanical studies in the Atuel Valley area, Mendoza province, Argentina. Dansk Botanisk Arkiv 22(3) 189-358Copenhagen. Ejnar Munksgaard.
- Bonnat F. G., 2009. Estrategias de abastecimiento y producción lítica durante el Holoceno Tardío en Valle Hermoso 1 (Malargüe, Mendoza). Tesis de Licenciatura Universidad Nacional del Centro Provincia de Buenos Aires. Inédita.
- Cabrera A., 1976. Regiones Fitogeográficas Argentinas. Enciclopedia Argentina de Agricultura y Jardinería, II(1):347-411 Ed Acme. Buenos Aires.
- Capitanelli R., 2005. Climatología de Mendoza. Editorial de la Facultad de Filosofía y Letras
- Capparelli A., Castro A. y Ciampagna M., 2009 Descripción macroscópica e identificación anatómica de un instrumento de madera (¿arpón?) Hallado en el sitio Cueva del Negro (costa norte de Santa Cruz, Argentina) En prensa
- Chabal, L., 1992. La représentativité paléo-écologique des charbons de bois archéologiques issus du bois du feu. Bulletin de la Société Botanique de France 139:213-236.
- D'Antoni H., 1983. Pollen analysis of Gruta del Indio. Quaternary of South American and Antartic Peninsula. 1:83-104
- Erize E. ,1988. Mapuche (Toponimia) Nº 4 Editorial Yepum, Buenos Aires.
- Erize E., 1990. Mapuche (diccionario mapuche-español) Nº 6 Editorial Yepum, Buenos Aires.
- Femenias J.2009, Flora de Famatina Wed Site http://www.scribd.com/people/documents/5014066?from_badge_documents_button=1
- Groeber P. 1926. Toponimia araucana. Anales de la Sociedad Argentina de Estudios Geograficos Tomo II Nº 1:3-195 Buenos Aires, Argentina.
- Herbario del Museo Municipal de Historia Natural de San Rafael
- Hernández, A 2002. Paleoetnobotánica en el Sur de Mendoza. En: Entre Montañas y Desiertos Arqueología del sur de Mendoza. Eds: Adolfo Gil y Gustavo Neme. Págs.: 157-180. Sociedad Argentina de Antropología. Buenos Aires.
- IAWA 1989. List of microscopic features for hardwood identification. E.A. Wheeler, P. Baas & Grason Eds. IAWA Bulletin 10: 219-332
- IAWA 2004 List of Microscopio features for sofwood identification. H. G. Richter, D. Grosser, I. Heinz, P. E. Gasson Eds. IAWA Journal 25(1):1-70
- Llano C., 2005. Recursos vegetales y ocupación humana: perspectiva arqueobotánicas en el sur de Mendoza. Tesis de Licenciatura en Ciencias Naturales de la Universidad del Aconcagua Instituto Superior del Profesorado "San Pedro Nolasco".Inédita
- Llano C., 2008. El registro arqueobotánico en el sitio Arroyo Malo 3, alto valle del Atuel, Mendoza, Argentina. Intersecciones en Antropología 9:133-143
- Manzo S. V. y Hernández J.V. 1997. Método empírico para estimar la densidad básica en muestras pequeñas de madera. Maderas y Bosques 3(1):81-87
- March R. 1992-2/3/4. L`utilisation du bois dans les foyers prehistoriques: une approche expérimentale.Les Charbons de bois les anciens Écosystèmes et le Rôle de L`Homme.Colloque Monpellier Vernet J.Bulletin de la Société Botanique de France Actualités Botanique Tome 139:245-253
- Marston, J., 2009. Modeling Wood Acquisition Strategies from Archaeological Charcoal Remains. Journal of Archaeological Science 36(10): 2192-2200

- Neme G. y Gil A., 2008. Faunal Exploitation and Agricultural Transitions in the South American Agricultural Limit. International Journal of Osteoarchaeology. 18:293-306
- Newton, C. 2005. Upper Egypt: vegetation at the beginning of the third millennium BC inferred from charcoal analysis at Adaïma and Elkab. Journal of Archaeological Science 32, 355-367
- Ortiz Garmendia, J. 1968. Plantas tintóreas de las zonas del desierto y la estepa Septentrional Chilenas. Contribuciones Arqueologicas Nº7 Museo de La Serena
- Paez M., Quintana F. y Pérez C., 2004. Biogeografía de las Regiones Áridas y Semiáridas entre 35º y 39º S, Argentina. Boletín de la Sociedad Argentina de Botánica. 39 (3-4): 171-180Pearsall, D., 2000.Paleoethnobotany. A handbook of procedures. Academic Press. Harcourt and Technology Company.
- Pérez Winter, C.2008. Organización Tecnológica durante el Holoceno medio en el alto valle del río Atuel, sur de Mendoza. Caso: Arroyo Malo 3. Tesis de Licenciatura, UBA. Buenos Aires. Inédita
- Pique í Huerta, R., 1999. Producción y uso de combustible vegetal arqueológico: Una evaluación arqueológica. Treballs d`Etnoarqueología Nº 3. Universidad Autónoma de Barcelona. Madrid.
- Prior J. y Alvin K. 1986 Structural Changes on charring woods of dichrostachys and salix from southern africa: the effect of moisture content. IAWA Bulletin 7(3):243-250
- Soria N., Salomón M., Rubio C. y Fernández R.2007 Herbario Digital Secano de Lavalle. Imforme tecnico. Laboratorio de Desertificación y Ordenamiento Territorial. LADyOT – IADIZA - CRICYT. Mendoza,
- Schobinger, J. y Gradín, C., 1985. Cazadores de la Patagonia y Agricultores Andinos. Arte Rupestre de la Argentina. Encuentro Ediciones. Madrid.
- Sugraña, N. 2009. Entre fragmentos y vasijas: Análisis cerámico del sitio Valle Hermoso-1(Malargüe, Mendoza) Tesis de Licenciatura en Antropología. Escuela de Antropología Facultad de Humanidades y Arte Universidad Nacional de Rosario. Inédita.
- Roig, F. A., 1972. Bosquejo fisionómico de la vegetación de la provincia de Mendoza. Geología, Geomorfología, Climatología, Fitogeografía y Zoogeografía de la Provincia de Mendoza. Instituto de Investigaciones de las zonas áridas y semiáridas. Reedición especial del suplemento del Vol. XIII del Boletín de la Sociedad Argentina de Botánica de Mendoza. 49:80.
- Roig, F. A. 1987. Los árboles indígenas de las provincias de San Juan y Mendoza (Parte V) Serie Científica. 35:32-33
- Roig, F. A. 2002. Flora medicinal mendocina. Las plantas medicinales y aromáticas de la provincia de Mendoza (Argentina).EDIUNC. Mendoza Argentina.
- Ruiz Leal A.,1972 Flora popular mendocina. Deserta III. Contribuciones del Instituto Argentino de Zonas Áridas.
- Villagrán C., Castro V., Sánchez G.,1998 Etnobotánica y Percepción del Paisaje en Caspana (Provincia de El Loa, Región de Antofagasta, Chile): ¿Una cuña atacameña en el Loa Superior? Estudios Atacameños 16:107-170.
- Zárate M. A., 2002. Los ambientes del Tardiglacial y Holoceno en Mendoza. En Entre montañas y desiertos: arqueología del sur de Mendoza. 9-42 Editores Gil A., Neme G.
- Wilcox G. H., 2002. Evidence for ancient forest cover and deforestation from charcoal analysis of ten archaeological sites on the Euphrates. In: Thiébault, S., (Ed.), Charcoal Analysis: Methodological Approaches, Palaeoecological Results and Wood Uses: Proceedings of the Second International Meeting of Anthracology, Paris, September 2000. Archaeopress, Oxford, pp. 141-145.

EVOLUCIÓN PALEOAMBIENTAL DE LA MESETA DE SOMUNCURÁ (PATAGONIA, ARGENTINA) DURANTE EL HOLOCENO TARDÍO: LOS MICROMAMÍFEROS COMO PROXY DATOS

Andrade Analia(1)

1 Centro Nacional Patagónico (CENPAT-CONICET), Boulevard Brown 2915, 9120, Puerto Madryn, Chubut, Argentina, andrade@cenpat.edu.ar

Introducción

En muchos sitios paleontológicos y arqueológicos es común observar una gran acumulación de restos de pequeños mamíferos. Dicha abundancia y la elevada sensibilidad de algunas especies convierte a las faunas de micromamiferos en uno de los métodos principales para interpretar la ecología o hábitat del momento en que el fósil fue preservado (Andrews 1990). Numerosos ejemplos a lo largo del mundo dan cuenta de su utilidad en la reconstrucción paleoambiental (Avery 1981, Simonetti 1989, Avery 1990, Barnosky et al. 1996, Vigne 1996, Hadly 1997, Simonetti y Saavedra 1998, Avery 2001, entre otros).

En Patagonia, los trabajos realizados por Pearson (1987) y Pearson y Pearson (1993) en el sitio arqueológico "Cueva Traful" son antecedentes tempranos sobre esta temática y sentaron las bases para una disciplina que comenzaba a desarrollarse paulatinamente en la Argentina. Sin embargo, la franja occidental es la que ha recibido mayoritariamente la atención (Crivelli-Montero et al. 1996, Pardiñas 1998, 1999, Rebane 2002, Teta et al. 2005). Esta desigualdad de conocimiento entre la cordillera-pedemonte y las estepas centrales se debe básicamente a que el primero de estos ámbitos concentra numerosos equipos de investigación arqueológica y por ende es el que aporta la mayoría de las secuencias de micromamíferos.

La historia paleoclimática del Holoceno de Patagonia fue y continúa siendo reconstruida a partir de diversas líneas de evidencias, aunque la palinología ha primado por sobre otras (ver Mancini 2003, Mancini et al. 2005, Whitlock et al. 2006 y las referencias allí citadas). En general, se trata de estudios de sitios ubicados en los bosques andinos o en las estepas ecotonales. La información disponible para las grandes mesetas centrales es aún exigua, si bien esta tendencia ha ido en creciente reversión en los últimos años (Stine y Stine 1990, Schabitz 1991, Garleff et al. 1994, Schabitz 1994, Mancini 1998, Prieto et al. 1998, Burry y D´Antoni 2001, Mancini 2003, Schabitz 2003, entre otros). La escasez de registros clásicos para las mesetas extrandinas (e.g., secuencias polínicas, ritmitas, morenas glaciarias, análisis dendrocronológicos etc.) vuelve necesario el desarrollo y perfeccionamiento de metodologías alternativas para estudiar su evolución ambiental. En este sentido, cobran importancia los micromamíferos; es de suma utilidad calibrar la señal aportada por estos últimos a la luz de los proxy datos convencionales. Trabajos efectuados en las estepas patagónicas occidentales y centrales (Andrade y Teta 2003, Pardiñas et al. 2005, Teta et al. 2005) y en el valle inferior del Río Chubut (Pardiñas et al. 2000) han arrojado resultados satisfactorios. Sin embargo, la carencia de investigaciones mastozoológicas – básicamente sobre las áreas de distribución y requerimientos ambientales de las especies de roedores y marsupiales - ha imposibilitado el planteo de hipótesis paleoclimáticas más precisas. Estudios desarrollados recientemente sobre las geonemias y asociaciones ecológicas de las especies de pequeños mamíferos que habitan la Meseta de Somuncurá (Andrade 2009) han permitido revertir este déficit y contar con un marco regional actual de comparación más adecuado para los intereses de las investigaciones en el interior y que garantice una mejor aproximación en las reconstrucciones paleoambientales.

El objetivo central de este trabajo es evaluar si han variado los ensambles de micromamíferos de las mesetas centrales de Patagonia septentrional durante el Holoceno Tardío (últimos 3000 años) y cuáles podrían haber sido los factores climático-ambientales que influyeron en dicha variación. Se plantean hipótesis paleoambientales para las estepas extrandinas a la luz de este nuevo marco actual regional y en comparación con las evidencias aportadas por otros proxy datos. La Meseta de Somuncurá, uno de los plateaus basálticos más extensos, resulta relevante para este tipo de estudios dada su conformación geomorfológica particular. Los núcleos efusivos se localizan hacia el centro de la altiplanicie, por lo que las alturas aumentan desde los bordes hacia su parte central conformando un gradiente que va desde los 600 a los 1600 m s.n.m. y la flora y fauna acompañan esta clina. Esta disposición permite predecir posibles movimientos altitudinales de los cinturones de vegetación a través de modificaciones en la composición de los ensambles fósiles locales.

El sitio: ubicación geográfica, estratigrafía y cronología

El sitio paleontológico del cual provienen los micromamíferos se encuentra localizado en el borde sudoccidental de las sierras de Talagapa, Chubut, Meseta de Somuncurá (42º14'S, 68º14'O, 1.500 m s.n.m, Figura 1). Consiste en una cueva de 19,5 m de ancho y 3 m de altura (Figura 1d) emplazada en un afloramiento rocoso en la cumbre de una lomada denominada Cerro Mesa. Presenta un importante buzamiento hacia la entrada y posee en su interior aproximadamente siete posaderos de lechuzas.

Se abrió una cuadrícula de 1 m2 ubicada a 6 m de la boca, por debajo del posadero principal, que fue excavada siguiendo los estratos naturales y por medio de decapados de 3 cm de espesor cuando la pila sedimentaria era homogénea. La secuencia se encontraba sellada por 13 cm de guano de oveja consolidado. Se extrajo primero un decapado de 2 cm (capa 1) - de un sedimento limo arcilloso color pardo - y por debajo de él seis decapados (capa 2 a 7) de una arcilla rojiza. La potencia total (excluido el guano) fue de 20 centímetros. Para la ubicación temporal de los restos se realizaron análisis radiocarbónicos por AMS de los materiales provenientes de las capas 1 (superior) y 7 (inferior). Los fechados fueron realizados en el Centro Di Datazione e Diagnostica (CEDAD) de Lecce, Italia y la antigüedad estimada para la secuencia paleontológica fue la siguiente: cumbre: 2.285 ± 40 años AP (edad Calibrada: 2.360 AP – 2.290 AP) y base: 2.857 ± 50 años AP (edad Calibrada: 3.160 AP – 2.850 AP).

Las sierras de Talagapa quedan comprendidas en el Distrito Occidental de la Provincia Fitogeográfica Patagónica (León et al. 1998). La vegetación predominante es una estepa subarbustiva-graminosa de mediana altura con importantes porcentajes de suelo desnudo. Cursos de arroyos temporarios se internan entre las serranías, conformando cañadones que se llenan con agua durante los deshielos y con la que infiltra de los niveles superiores de la Meseta. El clima es árido-semiárido; la temperatura promedio anual se encuentra entre los 8ºC y 10ºC y la precipitación media es menor a los 200 mm (Paruelo et al. 1998).

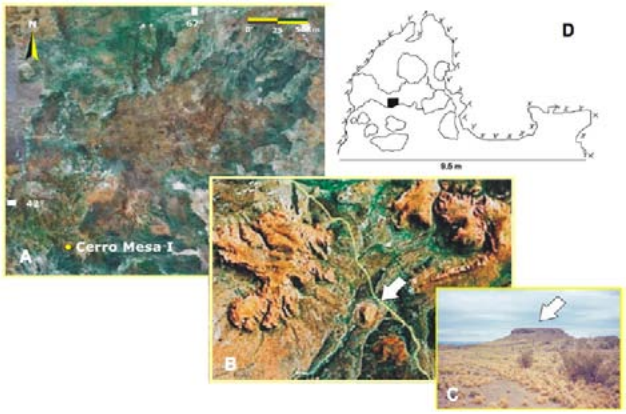


Figura 1: A) Imagen satelital de la Meseta de Somuncurá donde se precisa la ubicación del sitio paleontológico Cerro Mesa I. B) y C) Detalle del Cerro Mesa. D) esquema planimétrico del interior de la cueva con la ubicación de la cuadrícula de excavación. Imágenes A y B extraídas de Google Earth.

Materiales y metodología

La variación en la composición de los ensambles de pequeños mamíferos fue evaluada a través del análisis de piezas óseas y dentarias de roedores y marsupiales producto de la depredación de la rapaz Tyto alba y acumulados en el sitio Cerro Mesa I. Los sedimentos que provenían de la excavación fueron zarandeados con una malla de 2 mm y los restos, junto con el material de mayor grosor, embolsados y trasladados al laboratorio donde finalmente fueron separados. Se seleccionaron los cráneos, hemimaxilares y mandíbulas ya que fueron las partes anatómicas utilizadas para la determinación de las especies. Cada una de las presas fue identificada al máximo nivel de resolución taxonómica posible, utilizando claves publicadas (Pearson 1995) y otras confeccionadas a partir de los ejemplares capturados en el área de estudio (Andrade 2009). La abundancia de cada uno de los taxones en las muestras fue estimada a través del NISP (número de especimenes óseos identificados), el MNI (número mínimo de individuos; corresponde al NISP del elemento anatómico más abundante en la muestra) y su frecuencia relativa o proporción. Se realizo una transformación por octavas (en valores que van de 0 a 9) de los porcentajes alcanzados por cada especie.

La interpretación fue realizada mediante la utilización de análogos modernos, que consiste en comparar las muestras fósiles con ensambles actuales que hayan atravesado el mismo proceso tafonómico. Dado que los micromamíferos del sitio Cerro Mesa I fueron acumulados por la lechuza Tyto alba, se incorporaron egagrópilas y disgregados de esta especie colectadas en los niveles superiores del sitio paleontológico y en un cañadón cercano (marco local) y en las distintas regiones del gradiente altitudinal de la meseta y alrededores (marco regional). En total se incluyeron 26 muestras en el estudio. Se construyeron matrices, considerando las localidades de muestreo como casos y las especies como variables, con dos tipos de datos: presencia/ausencia y frecuencias estandarizadas de las especies. Las mismas fueron incorporadas en análisis multivariados de agrupamiento y de ordenamiento. Entre los primeros se realizaron clusters, utilizando como medida de similitud la distancia euclidiana. Entre los segundos se efectuó un análisis de componentes principales aplicado a una matriz de varianza-covarianza. El software empleado fue el Past.

Resultados

Especies registradas en las tafocenosis fósiles

Se determinaron un total de 7.292 restos craneanos y mandibulares, correspondientes a 2.882 individuos. Se registraron 12 especies de micromamíferos, todas ellas características de las estepas patagónicas. Entre éstas, nueve roedores sigmodontinos: Abrothrix longipilis, A. olivaceus, Chelemys macronyx, Eligmodontia sp., Euneomys chinchilloides, Loxodontomys micropus, Notiomys edwardsii, Phyllotis xanthopygus y Reithrodon auritus, un marsupial: Lestodelphys halli, un cávido: Microcavia australis y un octodóntido: Ctenomys sp. (Tabla 1).

Variación en la representación de especies

Las proporciones de las distintas especies no han variado substancialmente en la secuencia paleontológica, con excepción de pequeñas modificaciones hacia la base de la misma (capa 7, Tabla 1 y Figura 2). Eligmodontia sp. y E. chinchilloides dominan los ensambles de todo el lapso temporal (con frecuencias entre 0.21 y 0,25 para el primero y 0,21 y 0,27 para el segundo). A. olivaceus (entre 0,08 y 0,12), Ctenomys sp. (entre 0,07 y 0,15), N. edwardsii (entre 0,03 y 0,08) y R. auritus (entre 0,08 y 0,17) alcanzan frecuencias intermedias mientras que A. longipilis, C. macronyx, L. halli, L. micropus, M. australis y P. xanthopygus ocurren en porcentajes inferiores al 5%. El cambio mas evidente se produce entre los ensambles de la secuencia y las muestras actuales de egagrópilas y disgregados del Cerro Mesa y de las sierras de Talagapa (Tabla 2). En estas muestras se observa la misma jerarquía de dominancia numérica entre las especies - esto es, Eligmodontia sp. y E. chinchilloides son las predominantes, con frecuencias subordinadas del resto de los taxones – si bien se producen modificaciones puntuales en la proporción de algunas de ellas. Particularmente, hacia la actualidad ha aumentado en forma notoria E. chinchilloides (adquiere valores de entre 0,23 y 0,46), mientras que N. edwardsii ha disminuido (ahora sólo alcanza frecuencias de 0,01) y esta ausente en algunas de las muestras de las sierras (Talagapa 1). L. micropus formo parte del registro durante el Holoceno Tardío hasta tiempos históricos - se encuentra incluso en las muestras de guano de los niveles superiores del sitio paleontológico - pero ha desaparecido completamente del área en la actualidad.

Los micromamíferos de Talagapa en el contexto regional

Tanto los análisis de agrupamientos (Figura 3a) como de componentes principales (PCA, Figura 4) aplicados a una matriz de datos de presencia/ausencia de especies, muestran la existencia de al menos tres grupos, basados en la similitud de la composición de pequeños mamíferos. El grupo I esta constituido por aquellas muestras de egagrópilas que provienen de localidades situadas en la Provincia Fitogeográfica del Monte. Este grupo comparte la singularidad de estar conformado por especies típicas de este espacio, entre ellas: Akodon iniscatus, A. molinae, Calomys musculinus, Galea musteloides, Graomys griseoflavus y Thylamys pallidior (valores positivos para los autovectores del Componente Principal 1, Figura 4b) y por la ausencia de especies de las estepas patagónicas. Contrariamente, el grupo II engloba a las muestras de egagrópilas y disgregados colectadas en localidades emplazadas en la Provincia Fitogeográfica Patagónica. Estos ambientes se caracterizan por la presencia de Abrothrix longipilis, A. olivaceus, Chelemys macronyx, Euneomys chinchilloides, Lestodelphys halli y Notiomys edwardsii (valores negativos para los autovectores del Componente Principal 1, Figura 4b), y por la ausencia de especies del Monte. En este agrupamiento es donde se sitúan las muestras actuales de las sierras de Talagapa, como también los ensambles fósiles de los decapados de la secuencia del sitio Cerro Mesa I.

Tabla 1: Mínimo Número de Individuos (MNI), abundancia (en porcentaje, %) y frecuencia estandarizada (FE) de cada una de las especies, MNI total y Riqueza específica de cada decapado de la secuencia paleontológica del sitio Cerro Mesa I.

	Capa 7		Capa 6		Capa 5		Capa 4		Capa 3		Capa 2		Capa 1	
	MNI	**%/FE**	**MNI**	**%/FE**	**MNI**	**%/FE**	**MNI**	**%/FE**	**MNI**	**%/FE**	**MNI**	**%/FE**	**MNI**	**%/FE**
E. chinchilloides	15	25/7	52	21/7	91	24/7	131	27/7	175	27/7	211	26/7	31	27/7
R. auritus	10	17/7	23	9/6	52	14/6	56	12/6	57	9/6	82	10/3	9	8/5
P. xanthopygus	1	2/3	7	3/4	9	2/3	10	2/3	14	2/3	20	2/3	3	3/4
L. micropus	2	3/4	8	3/4	7	2/3	8	2/3	25	4/4	25	2/4	3	3/4
C. macronyx	3	5/5	2	1/2	7	2/3	10	2/3	16	2/3	17	2/3	3	3/4
A. olivaceus	5	8/5	27	11/6	42	11/6	47	10/2	78	12/6	85	11/6	11	10/6
A. longipilis	1	2/3	11	4/4	14	4/4	17	3/4	24	4/4	34	4/4	5	4/4
Eligmodontia sp.	15	25/7	60	24/7	80	217	105	22/7	142	22/7	193	24/7	26	23/7
N. edwardsii	2	3/4	13	5/5	32	8/5	35	7/5	47	7/5	55	7/5	9	8/5
Ctenomys sp.	5	8/5	37	15/6	35	9/6	55	12/6	53	8/5	64	8/5	8	7/5
M. australis	0	0/0	2	1/2	4	1/2	3	1/2	3	1/2	7	1/2	2	2/2
L. halli	1	2/3	3	1/2	5	1/2	3	1/2	5	1/2	7	1/2	4	3/2
MNI total	**60**		**245**		**378**		**480**		**639**		**800**		**114**	
Riqueza	**11**		**12**		**12**		**12**		**12**		**12**		**12**	

Tabla 2: Mínimo Número de Individuos (MNI), abundancia (en porcentaje, %) y frecuencia estandarizada (FE) de cada una de las especies, MNI total y Riqueza específica registrada en el guano de la secuencia paleontológica y en las muestras actuales de egagrópilas del sitio (Cerro Mesa 2001 y 2002) y del cañadón (Talagapa 1= egagrópilas, Talagapa 2= disgregado).

	Guano		Cerro Mesa 2001		Cerro Mesa 2002		Talagapa 1		Talagapa 2	
	MNI	%/FE	MNI	%/FE	MNI	%/FE	MNI	%/FE	MNI	%/FE
E. chinchilloides	57	34/8	75	23/7	47	33/8	129	39/8	94	46/8
R. auritus	13	8/5	51	15/6	9	6/5	28	8/6	32	16/6
P. xanthopygus	7	4/4	11	3/4	4	3/4	15	4/5	10	5/5
L. micropus	7	4/4	0	0/0	0	0/0	0	0/0	0	0/0
C. macronyx	6	4/4	6	2/3	2	1/3	9	3/4	5	2/4
A. olivaceus	18	11/6	59	18/7	19	13/6	61	18/7	10	5/5
A. longipilis	6	4/4	7	2/4	5	3/4	9	3/4	5	2/4
Eligmodontia sp.	26	16/7	79	24/7	40	28/7	48	14/6	11	5/5
N. edwardsii	7	4/4	3	1/2	1	1/2	0	0/0	1	0.5/1
Ctenomys sp.	15	9/6	33	10/6	15	10/6	32	10/6	31	15/6
M. australis	1	1/2	4	1/3	0	0/0	3	1/2	1	0.5/1
L. halli	3	2/3	4	1/3	2	1/3	1	0.5/1	3	1/3
MNI total	**166**		**332**		**114**		**335**		**203**	
Riqueza	**12**		**11**		**10**		**10**		**11**	

El grupo III esta conformado por ensambles de micromamíferos provenientes de regiones ubicadas en el Ecotono Rionegrino. Este agrupamiento se mantiene como una unidad independiente aunque comparte especies con los grupos I y II. En él se mezclan taxones patagónicos como A. longipilis, L. halli y N. edwardsii con otros del Monte como A. iniscatus, G. musteloides, G. griseoflavus y T. pallidior y de amplia distribución como Microcavia australis (coeficientes negativos para el Componente Principal 2, Figura 4c). Los resultados obtenidos a partir de la matriz de frecuencias estandarizadas son similares (Figura 3b).

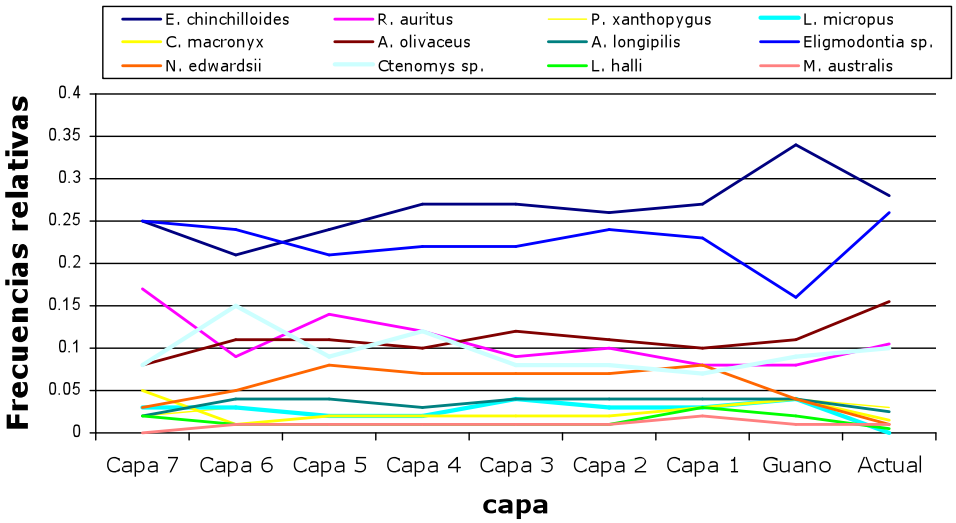


Figura 2: Variación en las frecuencias relativas de las distintas especies recuperadas en el sitio Cerro Mesa I a lo largo del tiempo. Los valores actuales corresponden a un promedio de los obtenidos en las muestras colectadas en la superficie del sitio (Cerro Mesa 2001 y 2002).

Discusión

Los micromamíferos de Talagapa

Los ensambles, tanto actuales como fosiles, están conformados por especies típicas de la estepa patagónica. Esto sugiere que esta fauna característica ya estaba establecida hace 2800 años AP. Sin embargo, muestra una mayor afinidad con las asociaciones del oeste de norpatagonia que con las orientales, por la presencia de especies que habitan en áreas boscosas y ecotonales como son Chelemys macronyx y Loxodontomys micropus. Viven preferentemente en lugares húmedos y con alta proporción de humus en el suelo; su distribución hacia el este de la línea de bosques estaría limitada por la disponibilidad de humedad si bien pueden ocupar mallines de estepa (Pearson 1995). Estos taxones están ausentes en el Somuncurá rionegrino en la actualidad. C. macronyx solo se registra en las sierras de los Chacays, Apas y Talagapa (Chubut) mientras que L. micropus solo en las primeras y en muy baja frecuencia (0.4 %). En Teta et al. (2002) se plantea que actualmente estos sigmodontinos mantendrían una distribución insularizada en la estepa patagónica y restringida a refugios mésicos y se propone la hipótesis de que las poblaciones que aún

El grupo III esta conformado por ensambles de micromamíferos provenientes de regiones ubicadas en el Ecotono Rionegrino. Este agrupamiento se mantiene como una unidad independiente e individualizada del resto de los grupos, aunque comparte especies con ambos (para esta discusión ver capítulo 6). En él se mezclan especies patagónicas como A. longipilis, Lestodelphys halli y Notiomys edwardsii con otras del Monte como A. iniscatus, Galea musteloides, Graomys griseoflavus y Thylamys pallidior y de amplia distribución como Microcavia australis (valores negativos para los autovectores del Componente Principal 2 Figura 7.6c).

persisten en contextos áridos corresponderían a relictos de paleodistribuciones más extensas. El registro de L. micropus y C. macronyx en la secuencia del Cerro Mesa y en diversos sitios arqueológicos de norpatagonia durante el Holoceno Tardío (Teta et al. 2005) permiten confirmar esta hipótesis. Los núcleos serranos de gran altura, como son las sierras de Talagapa, con microambientes más favorables en términos de humedad disponible, permitirían la permanencia de estas especies aunque en baja frecuencia, si bien se encuentran en constante decadencia. La extinción local de L. micropus y la clara disminución en la abundancia de Notiomys edwardsii en el área se produce aproximadamente en los últimos 200 años (lapso de tiempo desde la introducción de la oveja), situación que asemeja a lo observado en otros sitios (Teta et al. 2005). Se podría hipotetizar entonces que esta pérdida de biodiversidad en las sierras de Talagapa y en otras regiones de Patagonia extrandina encontraría sus causas principalmente en una degradación y homogeneización del ambiente por efecto antrópico.

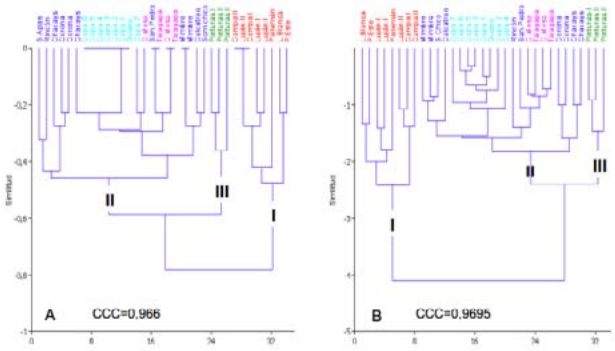


Figura 3: Análisis de agrupamiento que incluye muestras de egagrópilas actuales y los ensambles de la secuencia del sitio Cerro Mesa I. Los colores indican las distintas unidades de la vegetación, Rojo= Monte Austral; Verde= Ecotono Rionegrino; Azul=Estepa Patagonica. En Violeta se señalan las muestras de Talagapa y en celeste las fósiles. A) Matriz de presencia-ausencia, B) Matriz de frecuencias estandarizadas.

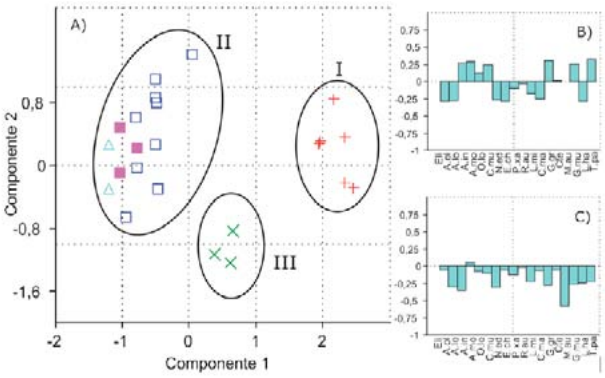


Figura 4: PCA que incluye muestras de egagrópilas actuales y los ensambles de la secuencia del sitio Cerro Mesa I. Los colores indican las distintas unidades de la vegetación, ídem Figura 3. En A) se señalan los agrupamientos y en B) y C) los autovectores de los componentes principales 1 y 2 respectivamente.

Los Pequeños mamíferos norpatagónicos en un marco paleoambiental regional para el Holoceno Tardío

Los estudios paleoambientales que hemos realizado en base a secuencias de micromamíferos de diversos sitios arqueológicos muy próximos al área de la Meseta de Somuncurá (Andrade y Teta 2003, Pardiñas et al. 2005, Teta et al. 2005) permitieron inferir que las condiciones ambientales de las estepas extrandinas durante el Holoceno Tardío habrían sido más húmedas y posiblemente más frías. Esta situación provoco la dispersión hacia el este de especies andinas como L. micropus y C. macronyx como así también del roedor anfibio de regiones subtropicales Holochilus cf. H. brasiliensis, que alcanzo el oeste de norpatagonia siguiendo los cursos de los ríos Negro y Limay (Teta et al. 2005). El registro de pequeños mamíferos del Cerro Mesa y de los sitios arqueológicos de Patagonia septentrional para el mismo lapso temporal, es consistente con la información paleoclimática aportada por los distintos proxy datos. Durante el Holoceno Tardío se producen nuevos reavances de los glaciares (entre 2.700 y 2.000 años AP) acompañados de incrementos en la humedad (Rabassa y Clapperton 1990). Estos episodios provocaron aumentos moderados del nivel de los lagos, el desarrollo de densos bosques en los Andes argentinos y chilenos y el desplazamiento hacia el este del área ecotonal bosque-estepa (Stine y Stine 1990, Heusser 1993, Whitlock et al. 2006, entre otros). Este período frío y húmedo habría sido incluso de carácter global (Van Gel et al. 2000).

Con posterioridad, las condiciones climáticas se habrían vuelto variables con alternancia entre fases frío-húmedas y cálido-secas, particularmente evidentes los últimos 1.000 años AP (Villalba 1990 entre otros). Hacia los 1.9 ka, en los sitios arqueológicos del sudoeste de Río Negro se registran frecuencias elevadas de taxones característicos de estepas arbustivo-herbáceas, con amplio porcentaje de roca expuesta y pedregal (Pardiñas et al. 2005, Teta et al. 2005). Si la fauna de Talagapa de ambientes húmedos ecotonales que posiblemente se encontrara en retroceso numérico por efectos climático-ambientales (disminución de los parches microambientales húmedos y extensión de la estepa arbustiva) sufriera una presión aún mayor debida a la pérdida de hábitats por el sobrepastoreo del ganado ovino, el efecto sería exacerbado. Desafortunadamente, el lapso temporal comprendido entre los 2.200 años AP y los últimos 200 años no ha quedado registrado en la secuencia del sitio Cerro Mesa I, lo que imposibilita poner a prueba esta hipótesis. Nuevas investigaciones que estamos desarrollando en el sector este del Somuncurá rionegrino han sido orientadas a evaluar si los movimientos altitudinales de los cinturones de vegetación se reflejan en la composición faunística y para intentar establecer el efecto sinérgico que pueden haber tenido el clima y la actividad antrópica sobre las poblaciones de pequeños mamíferos norpatagónicos.

Agradecimientos

A Lisandro López, María Florencia del Castillo, Marcela Nabte, Pablo Teta y Martín Zamero por su ayuda durante los trabajos de campo. A los pobladores de la meseta por su hospitalidad. Este trabajo se desprende del proyecto PIP 6475 (CONICET) que se llevó a cabo bajo la dirección de María Teresa Boschín.

Bibliografía

- Andrade A. 2009. Ecología geográfica y biodiversidad de los pequeños mamíferos de la Meseta de Somuncurá (provincias de Río Negro y del Chubut). Tesis Doctoral inédita, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Buenos Aires.
- Andrade A. y Teta P. 2003. Micromamíferos (Rodentia y Didelphimorphia) del Holoceno Tardío del sitio arqueológico Alero Santo Rosario (provincia de Río Negro, Argentina). Atekna, 1:274-287.
- Andrews P. 1990. Owls, caves and fossils. Predation, preservation, and accumu¬lation of small mammal bones in caves, with an analysis of the Pleistocene Cave faunas from Westbury-sub- Mendip, Somerset, UK. University of Chicago Press, Chicago.
- Avery D.M. 1981. Holocene micromammalian faunas from the Northern Cape Province, South Africa. South African Journal of Science, 77: 265-273.
- Avery D.M. 1990. Holocene climatic change in Southern Africa: the contribution of micromammals to its study. South African Journal of Science, 86: 407-412.
- Avery D.M. 2001. The Plio-Pleistocene vegetation and climate of Sterkfontain and Swartkrans, South Africa, based on micromammals. Journal of Human Evolution, 41: 113-132.
- Barnosky A.D., Rouse T.I., Hadly E.A., Wood D.L., Keesing F.L. y Schmidt V.A. 1996. Comparison of mammalian response to glacial-interglacial transitions in the middle and late Pleistocene. En: Palaeoecology and palaeoenvironments of late Cenozoic mammals: tributes to the career of C.S. (Rufus) Churcher, Stewart K.M. y Seymour K.L. (eds.). University of Toronto Press, Toronto, Canada. Pp. 16–33.
- Burry L. y D' Antoni H. 2001. Análisis de polen del sur del Chubut (Argentina): reinterpretación del perfil del Alero del Cañadón de las Manos Pintadas en base a análogos modernos. Asociación Paleontológica Argentina. Publicación especial 8, XI Simposio Argentino de Paleobotánica y Palinología: 65-72.
- Crivelli Montero E.A., Pardiñas U.F.J., Fernandez M.M., Bogazzi M., Chauvin A., Fernández V.M., Lescano M.J. 1996. La cueva Epullán Grande (provincia del Neuquén, Argentina). Praehistoria, 2: 185-241.
- Hadly E.A. 1997. Evolutionary and ecological response of pocket gophers (Thomomys talpoides) to late-Holocene climatic change. Biological journal of the Linnean Society, 60: 277-296.
- Garlef K., Reichert T., Sage M., Schäbitz F. y Stein B. 1994. Períodos morfodinámicos y el paleoclima en el norte de la Patagonia durante los últimos 13.000 años. Revista del Museo de Historia Natural de San Rafael, Mendoza, 12(4): 217-228.
- Heusser C.J. 1993. Palinología de la secuencia sedimentaria de la cueva Traful I (Provincia del Neuquén, República Argentina). Praehistoria, 1: 206-210
- León R.J.C., Bran D., Collantes M., Paruelo J.M. y Soriano A. 1998. Grandes unidades de vegetación de la Patagonia extra andina. Ecología Austral, 8: 125-144.
- Mancini M.V. 1998. Vegetational changes during the Holocene in extra-andean Patagonia, Santa Cruz province, Argentina. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, 138: 207-219.
- Mancini M.V. 2003. Paleoecología del Cuaternario Tardío en el sur de la Patagonia (46º-52ºS), Argentina. Revista del Museo Argentino de Ciencias Naturales, 52(2): 273-283.
- Mancini M.V., Paez M.M., Prieto A.R., Stutz S., Tonello M. y Vilanova I. 2005. Mid-Holocene climatic variability reconstruction from pollen records (32°-52°S, Argentina). Quaternary International, 132: 47-59.
- Pardiñas U.F.J. 1998. Roedores Holocénicos del sitio Cerro Casa de Piedra 5 (Santa Cruz, Argentina): tafonomía y paleoambientes. Palimpsesto. Revista de Arqueología, 5: 66-90.
- Pardiñas U.F.J. 1999. Los roedores muroideos del Pleistoceno tardío-Holoceno en la región pampeana (sector este) y Patagonia (República Argentina): aspectos taxonómicos, importancia bioestratigráfica y significación paleoambiental. Tesis Doctoral inédita, Facultad de Ciencias Naturales y Museo, Universidad Nacional de La Plata.
- Pardiñas U.F.J., Moreira G., García-Esponda C. y De Santis L.J.M. 2000. Deterioro ambiental y micromamíferos durante el Holoceno en el nordeste de la estepa patagónica (Argentina). Revista Chilena de Historia Natutal, 72: 541-556.
- Pardiñas U.F.J., Udrizar Sauthier D.E, Andrade A. y Teta P. 2005. Roedores sigmodontinos y paleoambientes del Holoceno tardío en norpatagonia extra-andina (Argentina). Actas del XVI Congreso Geológico Argentino, CD-ROM. Artículo Nº 804 . 8pp.
- Paruelo J.M, Beltrán A., Jobbágy E., Sala O.E. y Golluscio R.A. 1998. The climate of Patagonia: general patterns and controls on biotic processes. Ecología Austral, 8: 85-101.
- Pearson O.P. 1987: Mice and the Postglacial history of the Traful Valley of Argentina. Journal of Mammalogy, 68: 469-478.
- Pearson O.P. 1995: Annotated keys for identifying small mammals living in or near Nahuel Huapi National Park or Lanin National Park, Southern Argentina. Mastozoología Neotropical, 2: 99-148.

- Pearson O. y Pearson A.K. 1993. La fauna de mamíferos pequeños cerca de Cueva Traful I, Argentina: pasado y presente. Præhistoria, 1: 73-89.
- Prieto A., Stutz S. y Pastorino S. 1998. Vegetación del Holoceno en la Cueva Las Buitreras, Santa Cruz, Argentina. Revista Chilena de Historia Natural, 71: 277-290.
- Rabassa J. y Clapperton C. 1990. Quaternary glaciations of the southern Andes. Quaternary Science Reviews, 9: 153-174.
- Rebane K. 2002. The effects of historic climatic change and anthopogenic disturbance on rodent communities in Patagonia, Argentina. Honors Thesis, Stanford University.
- Schabitz F. 1991. Paleoecological studies of the "bajos sin salida" of northern Patagonia (Laguna Indio muerto), Argentina (Preliminary results). Bamberger Geographische schriften, 11: 295-308.
- Schabitz F. 1994. Holocene climatic variations in northern Patagonia, Argentina. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, 109: 287-294.
- Schabitz F. 2003. Estudios polínicos del Cuaternario en las regiones áridas del sur de Argentina. Revista del Museo Argentino de Ciencias Naturales, 5(2): 291-299.
- Simonetti J.A. 1989. Small mammals as paleoenvironmental indicators: validation for species of central Chile. Revista Chilena de Historia Natural, 62: 109-114.
- Simonetti J.A. y Saavedra B. 1998. Holocene variation in the small mammal fauna of central Chile. Z. Säugetierkunde, 63: 58-62.
- Stine S. y Stine M. 1990. A record from lake Cardiel of climatic change in southern South America. Nature, 345: 705-708.
- Teta P., Andrade A. y Pardiñas U.F.J. 2002. Novedosos registros de roedores sigmodontinos (Rodentia: Muridae) en la Patagonia central argentina. Mastozoología Neotropical, 9(1): 79-84.
- Teta P., Andrade A. y Pardiñas U.F.J. 2005. Micromamíferos (Didelphimorphia y Rodentia) y paleoambientes del Holoceno tardío en la Patagonia noroccidental extra-andina (Argentina). Archaeofauna, 14: 183-197.
- Van Geel B., Heusser C.J., Renssen H. y Schuurmans C.J.E. 2000. Climatic change in Chile at around 2700 BP and global evidence for solar forcing: a hypothesis. The Holocene, 10 (5): 659–664.
- Vigne J.D. 1996. Small mammal fossil assemblages as indicators of environmental changes in Northern Corsica during the last 2500 years. Journal of Archaeological Science, 23: 199-215.
- Villalba R. 1990. Climatic fluctuations in northern Patagonia during the last 1000 years inferred from tree-ring records. Quaternary Research, 34: 346-360.
- Whitlock C., Bianchi M.M., Bartlein P.J., Markgraf V., Marlon J., Walsh M. y McCoy N. 2006. Postglacial vegetation, climate, and fire history along the east side of the Andes (lat 41–42.5°S), Argentina. Quaternary Research, 66: 187–201.

REMEDIACIÓN AMBIENTAL EN UN ÁREA NATURAL TURÍSTICA. PARQUE PROVINCIAL COPAHUE. NEUQUÉN (ARGENTINA)

Bertani, Luis – Martínez, Paloma

luisbertani@speedy.com.ar

mfpaloma@gmail.com

Palabras clave:

- remediación ambiental
- degradación de tierras
- bosque de Araucarias
- turismo sustentable
- Patagonia

Resumen

Este trabajo posee características de investigación aplicada y tiene como objetivo central controlar y revertir los procesos erosivos desencadenados en un sector de uso turístico del área de bosque en el Parque Provincial Copahue (provincia del Neuquén).

Uno de los objetivos centrales de la creación de este área Protegida es la preservación de las manifestaciones más septentrionales de los bosques de Araucaria araucana. Cerca de la localidad de Caviahue y próximo al río Agrio, el sector conocido como "Cascadas del Agrio" ha sufrido por décadas el impacto del tránsito de pobladores rurales con ganado trashumante y más recientemente de turistas que en gran número acuden al sitio. Por esta zona, además, pasa la ruta hacia el paso internacional Pucon Mahuida y otros parajes aledaños. El inadecuado trazado de caminos, el intenso pisoteo y la sobrecarga ganadera, contribuyeron al desequilibrio entre los componentes que intervienen en este paisaje. Como resultado se han evidenciado una serie de procesos de degradación de la tierra entre los que se pueden destacar:

- Formación de regueros y cárcavas.
- Raíces expuestas y vegetación en pedestal.
- Pérdida de suelos.
- Pérdida de vegetación herbácea y arbustiva.
- Caída de árboles (araucarias).
- Zonas con deflación.

Este proyecto, además de analizar la situación expuesta, tiene como propósito intervenir en el paisaje a través de la construcción de diques o azudes permeables para remediar la degradación del sitio. Hasta el presente se han realizado 4 campañas con resultados que demuestran la viabilidad del proyecto.

El trabajo, de carácter interdisciplinario, se realiza en forma conjunta entre docentes y alumnos de las áreas de Geografía y Turismo de la Universidad Nacional del Comahue y la Dirección de Áreas Protegidas de la Provincia del Neuquén.

Introducción

Las áreas naturales protegidas que poseen atractivos de valor paisajístico convocan un importante número de visitantes. Los sitios naturales turísticos más accesibles y cercanos a centros de población son objeto de presión, no sólo como resultado de actividades recreativas, sino de la circulación vehicular y peatonal, a menudo de manera incompatible con las características del medio.

La degradación ambiental ocasionada en el sector conocido como "Cascadas del Agrio" del Parque provincial Copahue, se percibe en la progresiva pérdida de cobertura vegetal, en las cárcavas de gran longitud que surcan el sector de tránsito turístico pendiente abajo y en la pérdida de suelo acusada por las raíces expuestas de los ejemplares de Araucaria.

A partir de esta situación, un grupo interdisciplinario conformado por profesionales de las áreas de Geografía y Turismo de la Universidad Nacional del Comahue, junto con Areas Naturales Protegidas de la provincia de Neuquén, y acompañados por alumnos de la carrera de Geografía, proponen estudiar el fenómeno e iniciar tareas de remediación para frenar y en lo posible revertir el conflicto. Además de la importancia de restaurar el equilibrio ambiental afectado, destinatarios directos del proyecto serán los pobladores y visitantes que utilizan el área, al obtener una mejor calidad en su experiencia recreativa. La recuperación del paisaje y el acondicionamiento del recurso natural en función de la prevención de los impactos del turismo y otras actividades, redundarán en un mejoramiento de la calidad del área como atractivo, transformando además al proceso de recuperación en un atractivo en si mismo. El turismo es la actividad económica predominante en la localidad de Caviahue, por lo que mejorar las condiciones de conservación de un ambiente único en el país contribuirá a la permanencia y reproducción de un bioma fundamental para el equilibrio del paisaje y de las condiciones socioeconómicas de la zona.

El trabajo tiene un año de desarrollo y esta en plena etapa de aplicación de medidas de corrección y estudio de la evolución de las mismas.

Objetivos

Objetivos generales

- Controlar y revertir los procesos erosivos desencadenados en el área.
- Elaborar un plan de monitoreo y seguimiento de las tareas de remediación.
- Propiciar un espacio de participación y transferencia a fin de involucrar a la población local en las tareas de restauración y prevención.
- Promover el aprovechamiento turístico sustentable.

Objetivos específicos

- Elaborar un mapa de localización de sitios en riesgo.
- Diseñar e instalar medidas de corrección y prevención de los procesos erosivos.
- Determinar la capacidad de carga turística del área.
- Establecer directrices de uso del espacio en función de la demanda y necesidades ambientales.
- Realizar encuentros y talleres de transferencia con los actores sociales involucrados.
- Capacitar en las prácticas de manejo sustentable del suelo.
- Establecer un programa de educación ambiental.

Metodología

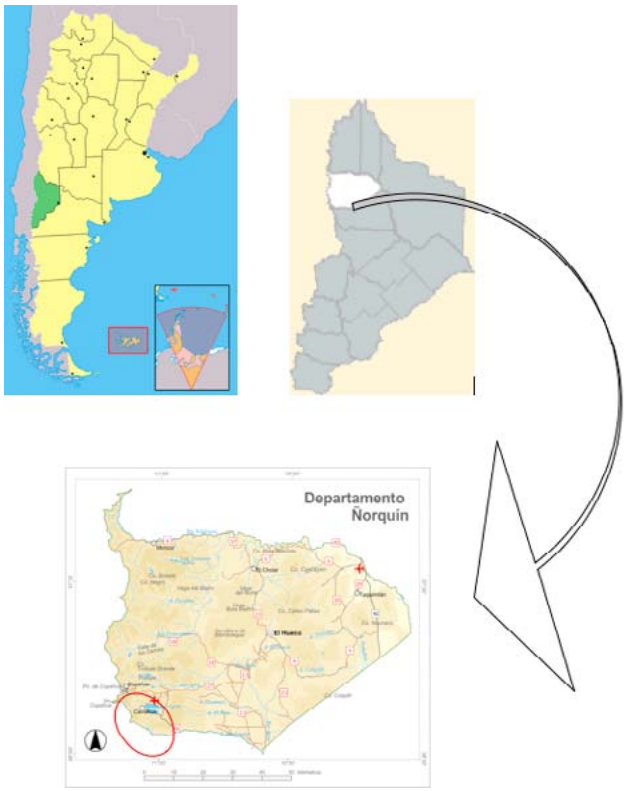
El trabajo tiene características de investigación aplicada, en la que se aplican técnicas específicas para la restauración cuya evolución permitirá inferir su aplicabilidad en áreas con problemáticas similares. Las tareas incluyen el relevamiento ambiental y análisis cartográfico, mediciones en el terreno, elaboración de cartografía del área afectada, selección de los sectores críticos, diseño e implementación de las medidas correctivas priorizando la utilización de materiales del lugar, determinación de variables y técnicas de control y monitoreo y determinación de la capacidad de carga turística.

Simultáneamente se trabajará con la comunidad local con talleres de reflexión, capacitación y concientización ambiental.

Aspectos geográficos del área

La localidad de Caviahue es una villa turística ubicada en el centro oeste de la provincia de Neuquén, a unos 1.620 m s.n.m, con una población estable de 620 habitantes (según proyección al 2008 del censo 2001) y una densidad de 164,3 hab / km2. Es municipio de tercera categoría desde 1999, y 432 de sus habitantes son empleados estatales, 85 municipales y 337 provinciales. Ubicada junto al lago homónimo, posee un entorno natural dominado por bosques de araucarias, arroyos y cascadas.

Figura 1: Ubicación Provincia de Neuquén y Caviahue



La principal actividad se enfoca en el turismo termal y de esquí, estando dotada de comodidades como hoteles, cabañas, restaurantes y servicios varios para la estadía. Fuera del invierno, la oferta turística se amplía ofreciendo numerosas opciones para el senderismo y montañismo, actividades con un creciente número de adeptos. Es necesario destacar que como espacios verdes para la población, el municipio reconoce los 280 km2 pertenecientes al parque provincial Copahue, notándose así la relevancia del área protegida en la oferta de espacios públicos recreativos para la comunidad local.

El clima en el área es templado, con grandes amplitudes térmicas y precipitaciones medias de 1.500 mm anuales (concentradas entre abril y octubre, en su mayoría en forma de nieve), dando lugar al desarrollo de una estepa arbustiva herbácea donde se destaca como formación arbórea el bosque de Araucaria araucana, especialmente protegida por la unidad de conservación. Esta especie se desarrolla sobre laderas y afloramientos rocosos por debajo de los 1.800 m s.n.m, a menudo acompañada por sotobosque de ñire.

Las condiciones climáticas limitantes y el intenso uso del sitio, antiguamente ganadero y con un turismo creciente, restringen el crecimiento de esta especie, cuyos renovales ven limitadas sus posibilidades de crecimiento.

El área donde se asienta Caviahue y su lago corresponde en la mayor parte de su extensión a una antigua caldera Vulcano tectónica originada durante el Plioceno; es decir que

todo el área, era un gigantesco cráter y las montañas que lo rodean, sus paredes. La depresión en la que se encuentra emplazada posee un relieve amesetado de origen volcánico, el cual fue posteriormente desgastado por la acción glaciaria, y esta limitada al norte, este y sur por abruptas paredes de cordones montañosos que superan los 2000 m.s.n.m. El límite occidental corresponde a la divisoria de aguas que establece la línea fronteriza con Chile, cuyo rasgo sobresaliente es el Volcán Copahue (2.925 mts) constituyendo esta particular geoforma la altura máxima del área y uno de los principales atractivos para los amantes del esquí, trekking y la naturaleza. Los suelos están desarrollados a partir de cenizas volcánicas holocénicas. Las áreas termales que caracterizan la región, son de origen superficial, corrientes o infiltradas, provenientes del deshielo de los mantos que cubren la zona.

El sitio seleccionado para realizar las tareas de remediación se encuentra sobre la margen derecha del río Agrio, unos 1.800 metros antes de su desembocadura en el lago Caviahue. Ocupa la parte inferior de la ladera oriental del volcán Copahue en un relieve escarpado, con importantes resaltos de roca volcánica que originan varias cascadas en el cauce del río Agrio, configurando un importante atractivo natural.

Las Cascadas del Agrio

Este atractivo se ubica en la zona de Uso Público extensivo, según la zonificación del parque, y consiste en un recorrido a lo largo de un tramo de aproximadamente 1.300 m junto al río Agrio, en el cuál pueden observarse sucesivamente las cascadas: Del Basalto, Cabellera de la Virgen, De la Culebra y Del Gigante.(fotos).

Figura 2: Araucaria y Cascada del Basalto

Figura 3: Cascada Cabellera de la Virgen

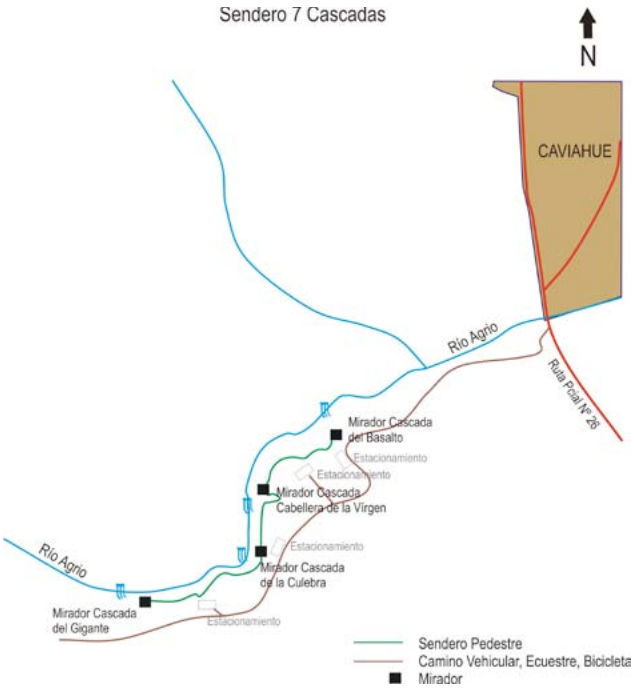
Existen otros saltos menores a mayor distancia pendiente arriba y no suelen ser visitadas por el grueso de los visitantes. El acceso es a través de un camino vehicular consolidado que sale de la ruta de acceso a Caviahue (Ruta Provincial N° 26), a 1 km de la localidad, en la margen derecha del río Agrio, antes de su desembocadura en el lago Caviahue.

Por un sector de fuerte pendiente el camino llega hasta el primer estacionamiento y acceso al mirador de la cascada del Basalto. El mismo está construido en madera y conforma un balcón sobre el río Agrio. Sin embargo esta zona se encuentra sometida a un intenso pisoteo, hallándose el suelo casi completamente desnudo. Las tres cascadas siguientes presentan condiciones similares: ausencia de vegetación arbustiva y herbácea en sectores de estacionamiento y acceso a miradores. La cartelería es precaria y suele encontrarse en mal estado.

Trabajos recientes de Áreas Naturales de la Provincia de Neuquén han demarcado con rocas una senda enlazando las cascadas, a fin de concentrar el transito peatonal. Al no contar con mantenimiento regular, esta senda se desdibuja fácilmente y además presenta el problema de que en si misma concentra el escurrimiento del agua y podría generar nuevas cárcavas.

Debe destacarse el alto potencial natural, singularidad y diversidad de componentes que posee esta unidad de paisaje, lo que le otorga un alto valor como atractivo turístico. Estando estas condiciones presentes en otras áreas del parque, la cercanía al centro urbano hace que las Siete Cascadas sea una de las sometidas a mayor presión, habiéndose detectado que un 70 % de los turistas visitan estas cascadas.

Figura 4: Plano sendero de las cascadas del Agrio



Escala 1: 15600
Fuente: Dirección pcial de áreas naturales protegidas,

Situación ambiental

El área de acceso al atractivo turístico presenta evidencias de degradación como resultado de la pérdida de cobertura vegetal e intenso carcavamiento desarrollado en sectores próximos al estacionamiento y sobre el antiguo camino vehicular, que tuvo que ser clausurado. El nuevo trazado es el mismo que conduce al paso internacional Pucon Mahuida, que recientemente fue objeto de reuniones para discutir su futura apertura.

En el sector se observa un empobrecimiento en especies como la caña Coligüe (Chusquea coleau) y Ñire (Nothofagus antarctica), así como en otras esteparias; el coirón es la más resistente, aunque también está despareciendo en las zonas más degradadas dando lugar a importantes superficies de suelo desnudo altamente friable.

Esta situación ha generado una intensa actividad erosiva que se activa como resultado de las precipitaciones o a partir de la fusión nívea en la época primaveral. La activación de regueros y cárcavas provocó que en amplios sectores el nivel del suelo haya disminuido como resultado de la erosión hídrica (y también en menor medida eólica). La consecuencia de este proceso es la pérdida de hasta 1,5 m de espesor de suelo en algunos sitios y el descalce de las raíces de varios ejemplares de Araucaria.

Esta "micro cuenca" generada por los regueros y cárcavas tiene una superficie de 6,5 ha.

Figura 5: Pérdida de suelo y vegetación

Figura 6: Araucaria descalzada

Por otra parte, el sector tratado en este trabajo ha sido durante mucho tiempo lugar de tránsito de comunidades originarias y criollas, debido principalmente a la utilización de campos de veranada en la cordillera de los andes. Actualmente se tiene registro de quienes realizan arreos dentro del área protegida, sus zonas de circulación y lugares de descanso. Se considera importante involucrar a estas comunidades en el reconocimiento de la problemática ambiental, a fin de acordar pautas de uso a futuro, rutas alternativas e, incluso, transferirles técnicas de restauración a fin de frenar similares procesos de degradación en sus tierras.

Tareas de remediación

El primer estacionamiento fue el sector seleccionado para comenzar los trabajos, por ser el de más intenso tránsito y donde se evidencian condiciones de degradación más severas (Figura nº 8). Durante las dos primeras campañas al área de estudio (Diciembre/08 – abril/09) se comenzaron a aplicar las medidas de remediación pautadas para frenar y revertir la erosión hídrica en las dos cárcavas principales (A y B). Pudo observarse como en los sectores donde existe alguna obstrucción de tipo natural (rocas, troncos, etc.) se bloquea el cauce, disminuye su competencia y genera la sedimentación

aguas arriba. Esto favorece el crecimiento de herbáceas y propicia condiciones que contribuyen a colmatar estos cauces.

Se realizaron mediciones sobre orientación, pendiente, longitud, profundidad y ancho de las cárcavas, con el objeto de mapear el área y disponer de datos de base que permitan determinar la localización, distribución, forma y tamaño de los azudes. Con esta información se procedió a determinar áreas prioritarias para dar comienzo al proceso de remediación. Posteriormente se procedió a monitorear:
a- el estado y funcionamiento de los azudes.
b- el proceso de acumulación sedimentaria

Los trabajos iniciales de remediación consistieron en la construcción de diques con rocas del lugar, transversales a las cárcavas y separados entre si por una distancia entre 3 y 7 m, según la pendiente en cada tramo. Su altura fue determinada de acuerdo a la profundidad de la cárcava, tratando de evitar el escurrimiento lateral. La elaboración de estos azudes contempló la construcción de un muro permeable y un lecho de rocas en el sector inmediato inferior a fin de facilitar el escurrimiento natural y amortiguar el impacto de la corriente de agua al salvar el dique.

La represa de rocas es de bajo costo allí donde, como en este caso, el material es abundante y cercano, siendo su mayor utilidad en cárcavas de moderada pendiente y áreas de drenaje pequeñas. Su ventaja sobre presas hechas en otros materiales como madera, ramas y alambre, estriba en su mayor resistencia y durabilidad, así como poseen ventajas relativas a su flexibilidad y peso, pudiendo permanecer en contacto permanente con el lecho de la cárcava (SCS, 1973).

Las medidas promedio son de 90 cm de altura, 1.50 m de ancho en su base inferior y 60 cm de ancho en su parte superior. Se construye extendida hacia las orillas de la cárcava y las rocas del fondo se colocan en un surco no inferior a los 15 cm. de profundidad. Las rocas del fondo y laterales de la estructura deben ser de mayor dimensión que las que componen su parte central; en la Figura se presenta un modelo de represa de rocas propuesto por SCS (1973).

Además de las ventajas relativas a la construcción y funcionamiento de estos diques, debe destacarse que la utilización de rocas provenientes del sitio posibilita que las obras mantengan una armonía con el entorno paisajístico.

Sectores de intervención

Cárcava A

La Cárcava A (ver figura 12) tiene una longitud total de 696,25m, con un desnivel de 52,43 m y un gradiente medio del 7,5 %

La profundidad máxima es de 1,30m, habiendo sectores críticos con ancho de hasta 2m y profundidad de más de 1m. Los materiales que constituyen el sustrato son predominantemente originados por cenizas volcánicas holocenas, muy friables. En algunos sectores donde la cárcava se ha profundizado, aflora el basalto que infrayace a la tefra. En algunos tramos se ha podido constatar la pérdida casi total de cobertura vegetal en las márgenes de la cárcava, lo que potencia el proceso de erosión.

En base las medidas tomadas, se ha calculado un volumen de pérdida de suelo cercano a 730 m3
En esta cárcava se construyeron diez diques: siete en diciembre de 2008 y tres en marzo de 2009.

Figura 7: Trabajos en cárcava A

Cárcava B

Es tributaria de la cárcava A y se une a esta a la altura del estacionamiento. La longitud hasta el cruce con el camino superior es de 155,41 m, con un desnivel de 18 m., lo que determina un gradiente medio de 11,58%.

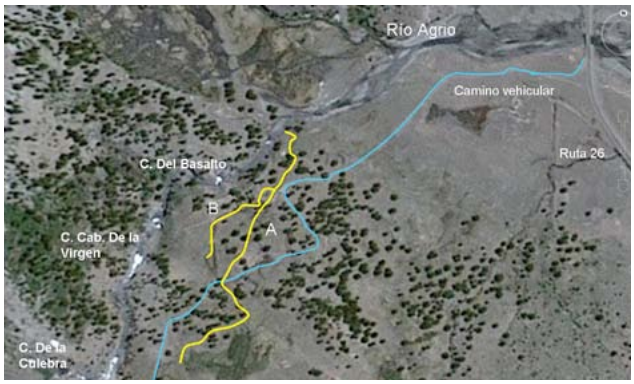
La profundidad máxima es de 1,20 m en el sector más encajonado. La cobertura vegetal es casi inexistente y esto hace que en general sea más estrecha y profunda. Se calcula un volumen de pérdida de suelo de 185 m3. En esta sección se construyeron siete diques en marzo del 2009-11-20

Figura 8: Cárcava B

Cárcava C

Si bien es de escasa longitud (61,2 m), se localiza en un área muy crítica, entre ejemplares de araucarias descalzadas, habiéndose medido una pérdida de suelo de 1,90 m y un volumen de 137 m3. Allí se construyó un dique de escasa altura, debido a que la pendiente llega a los 10 º

Figura 9: Ubicación cárcavas



Escala 1:8.000

Resultados obtenidos

A fines de enero de 2009 se efectuaron mediciones sobre los primeros 7 diques construidos y pudo constatarse que en aproximadamente dos meses la colmatación producida por el agua y el viento ya había reducido la profundidad de las cárcavas entre 10 y 20 cm. Durante la época invernal el área permanece hasta fines de octubre cubierta de nieve.

En noviembre del presente año, ya avanzado el deshielo, se realizaron nuevas mediciones para constatar el funcionamiento de los diques y evaluar la acumulación de sedimentos en cada uno, las cuales arrojaron valores muy significativos (ver tabla figura nº 19).

En líneas generales se observó un muy buen funcionamiento de los diques, ya que en un año prácticamente se alcanzó el nivel del borde superior del azud en muchos casos. El volumen de escurrimiento y sedimentos transportados es adecuado como para rellenar las cárcavas y formar suelo, lo cual alienta a continuar con la inserción de estas medidas en el resto de la microcuenca.

A pesar de haber sido construidos en marzo, los diques de la cárcava B manifestaron una mayor altura de acumulación de sedimentos, lo que se explica por ser una cárcava mas angosta y profunda. La falta de cobertura vegetal de sus márgenes indicaría una dinámica erosiva muy activa.

Tanto en la A como en la B se alcanzó más de 1m de altura de acumulación para algunos casos, llegando en la mayoría hasta el borde superior del dique construido.

Por lo general los diques se mantuvieron en buen estado. Durante la observación realizada en noviembre se constató la pérdida de solamente dos de ellos (7ª y 7ª bis), lo cuál también indica la firmeza y perdurabilidad de estas construcciones sencillas. En algunos de ellos se comprobó la necesidad de reforzar con algunas rocas ante la evidencia de encauzamientos laterales, y de acondicionar algunos sitios puntuales del lecho para evitar el efecto cascada.

Figura 10: Cárcava A - Noviembre 2009

Figura 11: Cárcavas B y C – Noviembre 2009

Conclusiones

Las medidas de remediación introducidas en las cárcavas del sector seleccionado han demostrado la eficiencia de estas técnicas para lograr la reducción del proceso erosivo, dado que en menos de un año hídrico se produjo una importante colmatación (más de medio metro en algunos casos). El trabajo se encuentra en pleno período de elaboración y es necesario incrementar el número de azudes en la microcuenca. La evolución de las cárcavas y la situación ambiental del sitio en el presente permiten inferir la importancia de complementar estas medidas con un proceso de revegetación del suelo, a fin de evitar que la problemática siga produciéndose. El trabajo en futuras campañas permitirá definir con mayor precisión los tiempos de recuperación y aplicabilidad en terrenos con estas características.

CARCAVA A
Profundidad

Fecha	0	0'	1	2	3	4	5	6
dic-08	0.68	0.4	0.89	0.83	1.26	0.94	0.48	1.2
nov-09	0.53	0.13	0.5	0.47	0.67	0.35	0.47	0.58
Altura dique dic08	0.5	0.35	0.65	0.55	0.84	0.73	0.34	0.83

CARCAVA B
Profundidad

Fecha	1	2	3	4	5	6	7
mar-09	0.65	0.87	1.54	1.59	0.92	0.85	1.02
nov-09	0.31	0.65	1.25	1.56	0.78	0.46	0.29
Altura dique mar09	0.65	0.54	0.71	0.6	0.38	0.52	0.78

CARCAVA C
Profundidad

Fecha	1
mar-09	1.9
nov-09	1.79
Altura dique mar09	0.4

Figura nº 12: Tabla de profundidad de cárcavas

Bibliografía

- BOLÓS M et al (1992) Manual de Ciencia del Paisaje, Masson, Barcelona.
- BRONDOLO, VAQUERO Y ERCOLANI (compiladores) (2000) Turismo: Desarrollo local y regional, Editorial de la Universidad Nacional del Sur, Bahía Blanca, Argentina.
- CEBALLOS LASCURAIN H (1998) Ecoturismo: naturaleza y desarrollo sostenible, Editorial Diana, México
- COLE, D (1989) Prácticas de Bajo Impacto para Actividades Recreativas en Áreas Silvestres, United States Department of Agriculture, Forest Service - Intermountain Research Station - General Technical Report INT- 265. Traducido por Claudio Chehébar. Delegación Técnica Regional Patagonia. APN. Bariloche. Argentina. -
- DIRECCION PCIAL.AREAS NATURALES PROTEGIDAS (2008) Plan Operativo Anual 2008 – 2009, Subsecretaría de Medio Ambiente, Neuquen
- MOHSP(2008) Caviahue – Copahue, Gobierno de la Provincia del Neuquén, 2008
- http://www.haciendanqn.gov.ar/nq/archivos/0fbc6_Informe%20de%20Caviahue%20Copahue_Marzo%202008.pdf
- GOMEZ OREA et al (1999) Gestión de la restauración de espacios degradados, Cepade, Universidad Politécnica de Madrid
- LEON PELAEZ, J (2001) Estrategias para el control y manejo de la erosión en cárcavas, http://www.unalmed.edu.co/~poboyca/documentos/documentos1/documentos-Juan%20Diego/Plnaifi_Cuencas_Pregrado/Control%20erosi%F3n%20en%20c%E1rcavas%20cuadernos%20ambiental.pdf
- MOORE (1985) Manual de operaciones para sistemas de áreas protegidas, FAO
- MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE (España) (1991) Guías Metodológicas para la Elaboración de Estudios de Impacto Ambiental. 1. Carreteras y Ferrocarriles, Madrid.
- ORTIZ SOLORIO María et al (1994) Evaluación, Cartografía y Políticas Preventivas de la Degradación de la Tierra, Comisión Nacional de las Zonas Áridas, México.
- RODRIGUEZ (2008) La idea del paisaje en el turismo de las sociedades post modernas, Universidad de la Habana, Cuba en T y M Online, http://www.turismoymercado.com/ver_items_descrip.asp?wVarItem=519
- SERVICIO DE CONSERVACIÓN DE SUELOS (1973) Manual de conservación de suelos, Limusa – Wiley,México
- STOCKING y MURAGHAN (2003) Evaluación de Campo de la Degradación de la Tierra, Mundi-Prensa, Murcia, España.

DESCRIPCIÓN METODOLÓGICA PARA LA ZONIFICACIÓN DE RIESGOS EROSIVOS EN LA CUENCA DEL ARROYO AZUL, PROVINCIA DE BUENOS AIRES.

Besteiro, S.I. (3), Rodríguez Vagaría, A.M. (1), Delgado, M.I. (1,2), Senisterra, G.E. (1) y Gaspari, F.J. (1).

(1) Cátedra de Manejo de Cuencas Hidrográficas, Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, UNLP Diagonal 113 Nº 469, 3º piso, La Plata, Buenos Aires. E-mail: fgaspari@agro.unlp.edu.ar

(2) Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas.

(3) Agencia Nacional de Promoción de Ciencia y Tecnología.

sebabesteiro@gmail.com

Palabras Clave

- Riesgo Erosivo
- Teledetección
- SIG
- Cuenca Alta del Arroyo Azul

Resumen

La posibilidad de evaluar cualitativamente el riesgo erosivo en una cuenca, resulta esencial al momento de encarar un proyecto de desarrollo territorial. Un proyecto que involucre a una cuenca hidrográfica como unidad de estudio se compromete a conocer el ambiente biofísico y social y sus limitantes en lo referente al uso y manejo del suelo. Un factor de impacto que genera una limitante importante es la erosión hídrica superficial. Para el estudio de dicho factor generalmente se recurre a distintas herramientas para reducir estos esfuerzos a fin de obtener datos a menor costo y tiempo. Existen numerosos modelos de predicción de la pérdida de suelo por erosión hídrica superficial siendo el más difundido la Ecuación Universal de la Pérdida de Suelo (USLE). Otras herramientas muy útiles son la teledetección y el sistema de información geográfica, que han permitido evaluar, detectar, cuantificar, procesar y generar cartografía detallada de las áreas actualmente erosionadas y su estado de riesgo de una manera fiable. El objetivo del presente trabajo fue describir una secuencia metodológica vinculada al modelo USLE, en el cual se involucran técnicas sencillas de teledetección a partir de imágenes Landsat TM, la utilización de imágenes de libre distribución (imágenes Google Earth y SRTM), y la vinculación de todo a través del sistema de información geográfica (SIG Idrisi Andes). La zonificación del riesgo erosivo por esta metodología, permitió establecer el manejo de la información georreferenciada de una manera más rápida y precisa en el espacio, sin la necesidad de incurrir en costosos procedimientos, beneficiados con la posibilidad de un seguimiento multitemporal del proceso de erosión hídrica superficial.

Introducción

Todo proyecto que involucre a una cuenca hidrográfica como unidad de estudio exige una caracterización pormenorizada de un gran conjunto de factores (suelo, clima, flora y fauna, actores sociales, niveles de organización social y económica), como así también, de las limitantes frente al uso y manejo del suelo. Uno de los factores de mayor impacto en el uso y manejo del suelo es la erosión hídrica superficial.

La necesidad de contar con una medida cualitativa de la erosión hídrica superficial, a través de una cartografía de riesgos erosivos, a un nivel de percepción adecuado, de forma rápida y económica, posibilita encarar labores de manejo y conservación de los suelos de forma práctica, logrando una reducción significativa en el tiempo de toma de decisiones y en los costos de ejecución.

Herramientas como la teledetección, sistemas de información geográfica (SIG), modelos predictivos de todo tipo, junto con el volumen de información que se maneja a nivel digital por Internet, se convierten en un instrumento poderoso para la generación de información secundaria. El desarrollo de metodologías sencillas para la determinación de los riesgos erosivos con estas herramientas se traduce en una ventaja frente a los métodos directos y/o tradicionales ya que representan un ahorro de esfuerzos tanto materiales y operativos, como en los tiempos de ejecución.

La metodología desarrollada en este trabajo, tiene la premisa de ser una aproximación cualitativa de los Riesgos Erosivos de la cuenca del Arroyo Azul, además se encuentra vinculada

con la Ecuación Universal de Perdida de Suelo (Wischmeier y Smith; 1958), lo que permite agregar valores cuantitativos a los resultados, con el fin de someter esta metodología a prueba.

Área de Estudio

La cuenca del arroyo del Azul se encuentra dentro de la Pampa Deprimida, en el centro de la Provincia de Buenos Aires (Partido de Azul), Argentina (-37º lat; -60º long). Sus límites comprenden un área aproximada de 3.530 km2. Se caracteriza por en un clima templado perteneciente en la región hídrica subhúmeda–húmeda (INTA; 1989), con precipitación media anual de 830 mm.

Morfológicamente, se divide en dos grandes áreas, una típicamente llana (cuenca baja) y una pequeña zona serrana en el límite sur (cuenca alta) donde se ubican las nacientes del arroyo. (Figura 1)

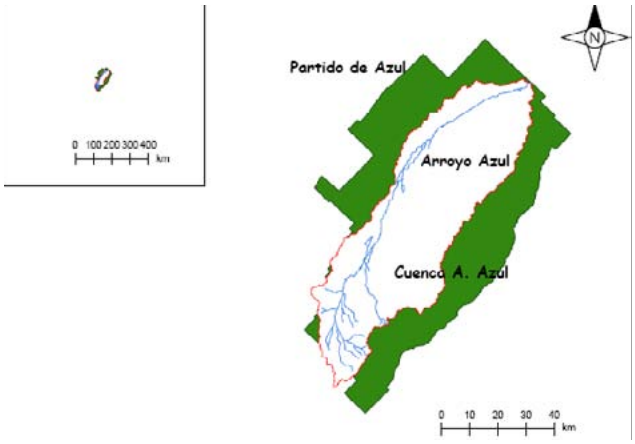


Figura 1. Mapa de ubicación de la cuenca del Arroyo Azul. Partido de Azul. Prov. Bs. As.

El Arroyo Azul recorre de sur a norte todo el partido, siendo alimentado por escurrimiento superficial y subsuperficial a lo largo de todo su recorrido. Este aporte, presenta distintas magnitudes en toda la extensión del territorio, lo cual determina que el uso y manejo de estas tierras estén estrechamente vinculados con la dinámica de arroyo y sus afluentes. (Figura 2) Desde el punto de vista del modelado del paisaje y su dinámica hídrica, el Arroyo Azul tiene un comportamiento particular según sea la zona en que éste se analice. Se diferencia una región de alta cuenca, al sur del partido, y una región de cuenca inferior, al norte del mismo.

- En la zona sur de la cuenca, los cauces se asemejan a ríos de montaña con tendencia a diseños subdendríticos. Los cauces principales se encuentran encajonados y bien definidos colectando el importante escurrimiento superficial y subsuperficial que existe en las tierras de este sector del partido, además existen cursos intermitentes, en numerosos sectores de vaguadas, y/o de cubetas alineadas.

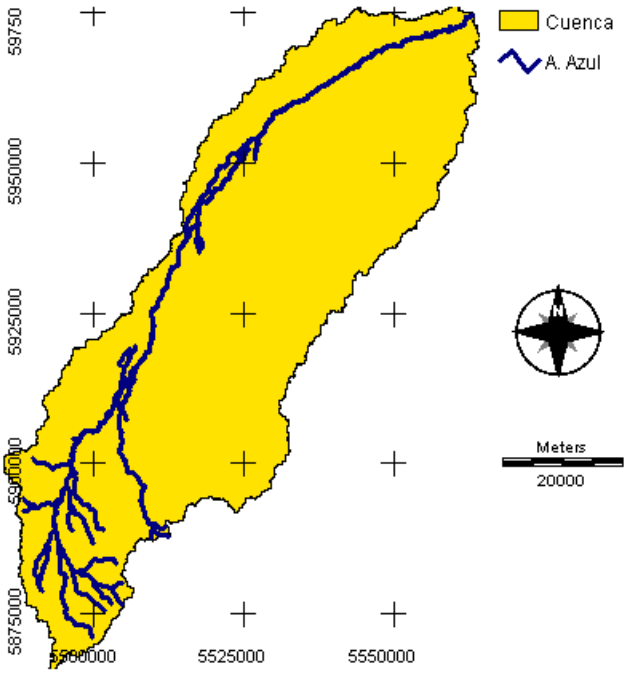


Figura 2: Cuenca hidrográfica del A. Azul

- En la zona norte de la cuenca, los cauces se comportan como típicos ríos de llanura, con cursos divagantes, sin afluentes o conexiones superficiales definidas por cauces permanentes. Presentan diseños anastomosados y meándricos. En esta región, la hidrografía presenta aspectos de drenaje de tipo semiárido, a pesar del clima húmedo. Muchos arroyos corren una cierta distancia y luego se secan. Algunos llegan hasta lagunas o unen cubetas que se conectan a través de los mismos durante épocas de lluvias extraordinarias, que luego se secan. (Piscitelli y Sfeir; 2004)

Materiales y métodos.

Tradicionalmente, el modelo mas utilizado para determinar la pérdida de suelo de un sitio por erosión hídrica laminar es el de la Ecuación Universal de Pérdida de Suelos (USLE). Este modelo se expresa de la siguiente manera:

A = K x R x LS x C x P

Donde:
A: Pérdida de suelo por erosión pluvial (Mg.ha-1.año-1),
K: Factor de erosionabilidad del suelo (tn.m2.h.ha-1.J-1.cm-1),
R: Factor índice de erosión pluvial (J.cm.m-2.cm-1),
LS: Factor topográfico,
C: Factor ordenación de cultivos y
P: Factor de control de erosión mediante prácticas de cultivo.

La metodología adoptada en este trabajo, consistió en adecuar información espacio-temporal de libre acceso en forma de mapas temáticos primarios para la generación de un mapa de Grados de Fragilidad del paisaje y finalmente una zonificación

del riesgo erosivo en clases de atributos de tipo cualitativos, todo esto, vinculado y trabajado a través del SIG Idrisi Andes. Esta metodología nace como una adaptación de esta ecuación universal, habiendo sido utilizada con resultados satisfactorios por Montesinos (1987) en la cuenca del río Adra, situada en el limite entre las provincias de Granada y Almería, España.

Obtención de la imagen Google

Con el objetivo de lograr una resolución de imagen adecuada para la digitalización de la red hidrológica se dividió el partido de Azul en 9 cuadrantes y se guardo en la mayor calidad posible la imagen correspondiente a cada uno de ellos. Posteriormente, estas imágenes se procesaron en el SIG Idrisi Andes, logrando así un mosaico de imágenes georeferenciadas y con una resolución en pantalla apropiada para la interpretación a nivel de detalles.

Delimitación de la cuenca del Arrollo Azul

En función del mosaico Google logrado se digitalizó el Arroyo Azul con el fin de quemarlo en el SRTM (Shuttle Radar Topography Misión) (NASA; 2000) y así obtener una mejor delimitación de la cuenca y de la red hidrográfica. Esta delimitación se realizó con la extensión MWSwat del MapWindow GIS.

Pasos metodológicos:

Los factores que acotan cualitativamente los procesos erosivos, en comparación con los coeficientes de la USLE son:

- 1- C x P, se representó por los usos del suelo,
- 2- L x S, se representó por el porcentaje de la pendiente topográfica, y
- 3- K x R, se evaluó a partir de la determinación de la densidad de la red de drenaje.

Cada uno de estos grupos se materializó en forma de mapas temáticos primarios que, a través del SIG idrisi Andes, se integraron de dos en dos para obtener, en primer lugar, una cartografía indicativa del grado de fragilidad del sustrato y finalmente, un mapa del riesgo de erosión de la cuenca estudiada.

La información correspondiente a cada uno de los grupos resultantes se obtuvo a partir de diferentes fuentes de datos. A continuación se expresa el procesamiento de dichos datos

1- Para definir el estado y características de la cubierta vegetal, a través del uso de los suelos, se utilizaron imágenes Landsat TM del 19/01/2009 y 22/10/2009, descargadas gratuitamente de http://www.dgi.inpe.br/CDSR/. Estas se clasificaron por medio de un cluster (clasificación no supervisada) en 4 clases y se determinó su incidencia espacial en la cuenca.

2- Para obtener el mapa de porcentajes de pendiente topográfica se trabajo con imágenes RSTM, descargadas de http://www2.jpl.nasa.gov/srtm/spanish.htm. Estas imágenes fueron sometidas al llenado de cubetas y al suavizado de los valores erráticos que podrían generar ruido. Posteriormente se realizó el mapa de pendientes de forma automática a través de la función SLOPE y una reclasificación para obtener las 5 categorías. Se realizó el cuadro de incidencia espacial.

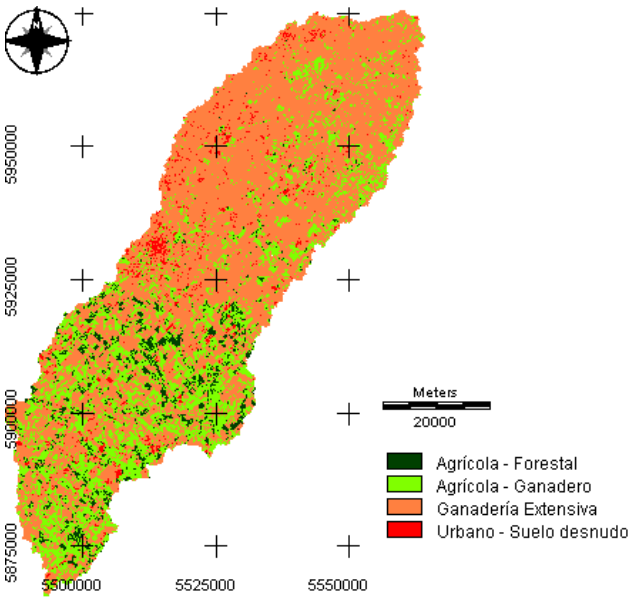
3- La densidad de la red de drenaje se determinó por la interpretación de un mosaico en alta resolución de imágenes obtenidas del Google Earth y las imágenes Landsat 5 TM antes señaladas. De esta manera se clasificó a la cuenca en dos áreas bien diferenciables, la primera se corresponde con la cuenca alta y la segunda, con la cuenca baja. Se realizó el cuadro de incidencia espacial.

Obtenidos los mapas temáticos primarios se generó un modelo cartográfico (Figura 6) donde se definieron los cruzamientos. Los mapas de Grados de Fragilidad y consecuentemente el de Riesgo Erosivo se obtuvieron por medio de tabulaciones cruzadas (CROSSTAB) en el SIG Idrisi Andes. De cada uno de los cruzamientos se generaron las correspondientes matrices, su reclasificación y su incidencia espacial en la cuenca.

RESULTADOS Y DISCUCIÓN

En la Figura 3 se muestra el mapa temático primario de usos del suelo. En la Tabla 1 se indican las categorías de uso del suelo junto con su expresión espacial en km2 y porcentajes de ocupación en la cuenca.

Figura 3. Mapa de Usos del suelo.



Cod.	USOS	SUP. (Km.^{2})	%
1	Agrícola - Forestal	100	2.9
2	Agrícola - Ganadero	872	24.7
3	Ganadero Extensivo	2391	67.7
4	Urbano - Suelo desnudo	168	4.7

Tabla 1. Detalle de usos del suelo en superficie y porcentaje del total de la cuenca.

En el 67.7 % de la cuenca predomina la ganadería extensiva como actividad productiva, en coincidencia con una vegetación de tipo pastizal degradado. La actividad que le sigue en importancia es la agrícola ganadera en donde se observan rotaciones de cultivos con pasturas para en ganado. El porcentaje de superficie correspondiente a suelo desnudo se corresponde con roca en superficie y urbanizaciones en su mayoría de tipo rural. Un pequeño porcentaje de la cuenca (2.9 %) se dedica a la rotación de cultivos y a forestaciones. La actividad agrícola–ganadera domina la cuenca alta, representando de esta manera la zona más fértil y productiva. En la Figura 4 se indica el mapa temático primario correspondiente a los rangos de pendiente. La Tabla 2, muestra la incidencia espacial de los rangos de pendiente en km2 y porcentajes de ocupación en la cuenca.

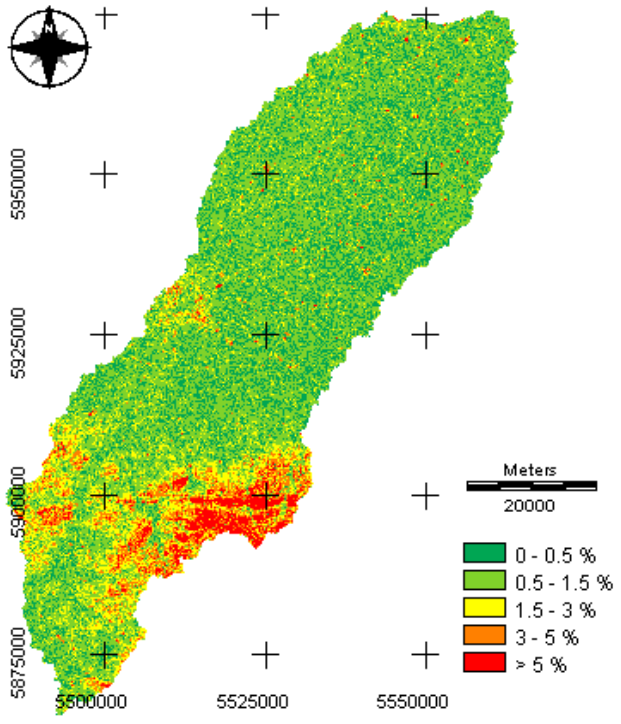


Figura 4. Mapa de rangos de Pendiente.

Cod.	% PENDIENTES	SUP. (Km.^{2})	%
1	0 - 0.5	1918	54.3
2	0.5 - 1.5	831	23.5
3	1.5 - 3	483	13.7
4	3 - 5	185	5.2
5	> 5	114	3.3

Tabla 2. Detalle de rangos de pendiente en superficie y porcentaje del total de la cuenca.

Se interpreta que más del 96 % de la cuenca posee pendientes inferiores al 5 % predominando, de esta manera, los procesos de infiltración frente a los de escorrentía. Esto deja de manifiesto que el movimiento de materiales de arrastre resultantes de la erosión hídrica se presenta en la cuenca alta, siendo la cuenca baja, una zona anegable de depositación de sedimentos.

En la Figura 5 se indica el mapa temático primario correspondiente a la densidad de la red hidrológica. La Tabla 3, señala la incidencia espacial de la densidad del drenaje en km2 y los porcentajes de ocupación en la cuenca.

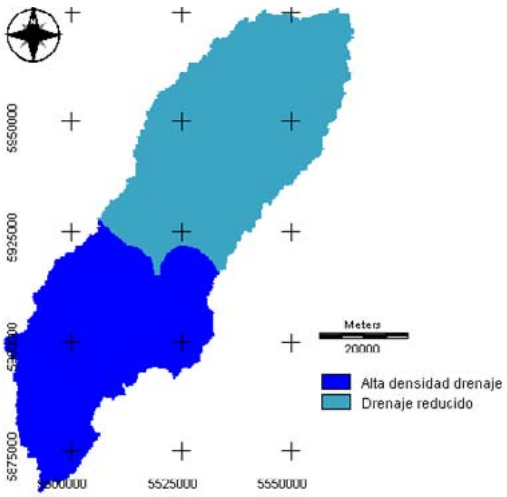


Figura 5. Mapa de Densidad de Drenaje

Cod.	DRENAJE	SUP. (Km.^{2})	%
1	Alta densidad	1568	44.4
2	Reducido	1962	55.6

Tabla 3. Detalle de densidad de drenaje en superficie y porcentaje del total de la cuenca.

En la figura 5 se puede apreciar dos zonas fácilmente distinguibles tanto en imágenes Google como en las Landsat TM, que a la vez coinciden con la separación entre la cuenca alta y baja. La analogía más visual es decir que la cuenca alta se comporta como una cuenca de montaña donde existen numerosos cauces bien marcados que conforman una red de drenaje densa, frente a la cuenca baja que se comporta como una cuenca de llanura donde predominan redes de drenaje divagantes e intermitentes que drenan a unos pocos causes principales, conformando una red de drenaje reducida, al punto de tener un solo componente.

En función de los mapas temáticos primarios se realizó un modelo cartográfico que definió los cruzamientos indicados en la Figura 6, con el fin de determinar el mapa de grados de fragilidad de la cuenca y la derivación en el mapa de Riesgos Erosivos.

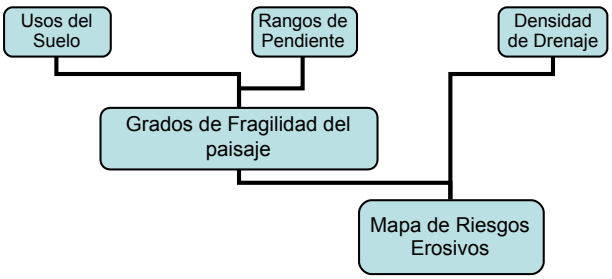


Figura 6. Modelo cartográfico.

Los cruzamientos de los mapas temáticos primarios, se realizaron por medio de una tabulación cruzada (CROSSTAB) y la consecuente reclasificación de las categorías obtenidas del cruce. Las nuevas categorías se indican a continuación (Tablas 4 y 5)

GRADOS DE FRAGILIDAD		% PENDIENTES				
		0 - 0.5	0.5 - 1.5	1.5 - 3	3 - 5	> 5
USOS	Agrícola - Forestal					
	Agrícola - Ganadero					
	Ganadero Extensivo					
	Urbano - Suelo desnudo					

Tabla 4. Grados de Fragilidad resultante de la agrupación de los cruzamientos de los tipos de Uso del suelo y los % de pendientes

Donde las Clases de Fragilidad resultantes son:

- 1 = Mínima
- 2 = Baja
- 3 = Media baja
- 4 = Media alta
- 5 = Alta
- 6 = Máxima

La Tabla 4 surge de vincular usos asociados a distintos estados de la vegetación con los distintos rangos de pendientes. Una vez obtenidos estos cruces, se reclasificaron considerando que el mayor grado de fragilidad se obtiene en suelos con elevadas pendientes y un tipo de cobertura vegetal degradada o inexistente, como sucede en la categoría de Suelo Desnudo. Cabe aclarar que la actividad ganadera extensiva se asocia con el tipo de cobertura vegetal de pastizal degradado.

RIESGO EROSIVO		DRENAJE	
		Alta densidad	Reducido
FRAGILIDAD	Mínima		
	Baja		
	Media Baja		
	Media Alta		
	Alta		
	Máxima		

Tabla 5. Riesgo Erosivo.

Donde las Clases de Riesgo Erosivo resultantes son:

- 1 = Bajo
- 2 = Medio
- 3 = Alto

La Tabla 5, se obtiene del cruzamiento del mapa de grados de fragilidad por el de densidad de drenaje. La reclasificación de estos cruces en clases de riesgos, se realizó bajo la premisa de que los riesgos erosivos son superiores a medida que aumenta la fragilidad del paisaje, y a medida que el drenaje se hace mas denso.

La representación cartográfica de las Tablas 4 y 5 se muestran en las Figuras 7 y 8, junto con las Tablas 6 y 7 que indican el grado de ocupación de las mismas.

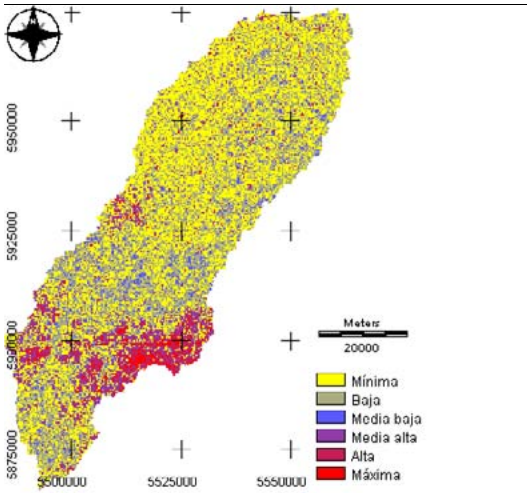


Figura 7. Mapa de Grados de Fragilidad del paisaje.

Cod.	FRAGILIDAD	SUP. (Km.^{2})	%
1	Mínima	1591	45.2
2	Baja	1134	32.2
3	Media Baja	202	5.7
4	Media Alta	382	10.8
5	Alta	160	4.5
6	Máxima	54	1.6

Tabla 6. Detalle de los grados de fragilidad en superficie y porcentaje del total de la cuenca

En la Figura 7 se observa que solo un 17 % de la cuenca poseen grados de fragilidad elevados, y que a la vez concuerdan con las zonas de afloraciones rocosas, suelos desnudos, urbanizaciones y áreas de pendientes elevadas. En contraposición con esto, gran parte de la cuenca y sobre todo las zonas bajas presentan escasa fragilidad ante la erosión hídrica de tipo laminar.

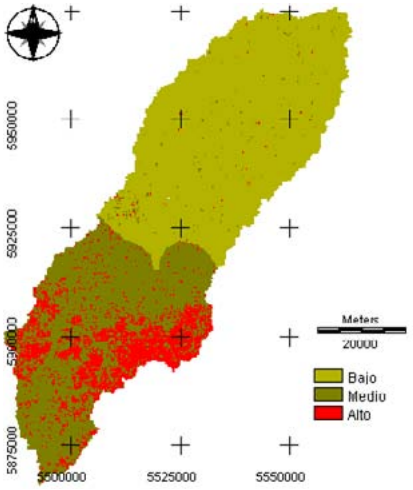


Figura 8. Mapa de Riesgos Erosivos de la cuenca del A. Azul.

Cod.	RIESGO EROSIVO	SUP. (Km.^{2})	%
1	Bajo	1141	32.4
2	Medio	1931	54.8
3	Alto	450	12.8

Tabla 7. Detalle de las clases de riesgo erosivo en superficie y porcentaje del total de la cuenca

La Figura 8 muestra el peso de los componentes primarios en los riesgos erosivos, siendo particularmente visible el peso de la densidad de drenaje y el rango de pendientes. Esto se debe a la situación particular de esta cuenca en donde se observan rasgos muy contrastantes para cada categoría atributiva primaria, junto con una relación muy estrecha entre los tres factores primarios elegidos.

CONCLUSIONES

La zonificación de los riesgos de erosión hídrica superficial fue lograda por medio de la obtención de sitios con similares potencialidades y limitaciones para el desarrollo de futuros programas de manejo y conservación de suelos. El riesgo de erosión hídrica superficial es bajo, predominando las pendientes bajas y suelos con buena capacidad de infiltración, la cual disminuye la escorrentía. Sin embargo, debe mencionarse la presencia de pequeños sectores en la zona de serranía, los cuales tienen niveles medio y alto de erosión potencial, principalmente a causa de las elevadas pendientes. El presente diagnóstico enfatiza la necesidad de nuevos y más detallados estudios para las zonas con mayor riesgo, contemplando la futura diagramación y puesta en práctica de medidas tendientes a mitigar los efectos nocivos de la erosión hídrica y fomentar un potencial ordenamiento territorial. La aplicación de teledetección por medio de un modelo cartográfico para evaluación del riesgo de erosión hídrica superficial permitirá zonificar el uso sostenible del suelo en la cuenca y establecer potenciales propuestas que se ajusten a la producción con la protección, recuperación y conservación del recurso agua y suelo, como así también a la sustentabilidad económica y la social de la región.

REFERENCIAS

- Aranda Montesinos, S. 1987. Desarrollo metodológico para la evaluación del Riesgo de Erosión Hídrica en el área mediterránea utilizando técnicas de Teledetección y GIS. Tesis doctoral, UNIVERSIDAD COMPLUTENSE DE MADRID, Facultad de Ciencias Geológicas. 236 pp.
- INTA. 1989. Mapa de Suelos de la Provincia de Buenos Aires. 544 pp.
- NASA. 2000. Shuttle Radar Topography Misión (SRTM). Jet Propulsion laboratory, California Institute of Technology. http://www2.jpl.nasa.gov/srtm/spanish.htm
- Piscitelli, M. Y Sfeir, A. J. 2004. Fisiografía detallada del Partido de Azul, para el desarrollo de un planteo conservacionista de manejo de suelos.(Buenos Aires, Argentina). Segundo Congreso de la Ciencia Cartográfica y IX Semana Nacional de Cartografía. 13 pp.
- Wischmeier, W., H. y Smith, D. D. 1958. Rainfall energy and its relationship to soil loss. Trans. Amer. Geophys Union 39: 285-291.

EXPLORATORY ANALYSIS METHODS APPLIED TO DENDROCHRONOLOGICAL SERIES

Sergio Camiz (1),
Rosa Maulucci (2),
Fidel A. Roig (3)

(1) Sapienza Università di Roma, Italy, sergio.camiz@uniroma1.it

(2) Know K., Foggia, Italy, r.maulucci@knowk.it

(3) IANIGLA-CRICYT, Mendoza, Argentina, froig@lab.cricyt.edu.ar

Introduction

Trees record in their tree-ring structure a portion of the environmental variations occurring at the moment of the ring formation. Thus, the year-by-year variations of climate may be represented by yearly variations in the width or anatomical characteristics of tree rings, being these environmental/ tree-growth relations the basis of dendroclimatology (Fritts, 1976). In this way, a particular climatic signal contained in the tree rings should be carefully protected by appropriate field sampling designs and data processing, in order to produce high-quality tree-ring chronologies. In other words, for any environmental information one wishes to get from tree rings, the selection criteria for sites, tree individuals, and wood samples should consist in the reduction of noise that produce information not relevant to solve the problem at hand, thus maximizing the common signal in the chronologies as a response to a particular growth limiting factor. In dendrochronological studies, after the cross-dating control is applied to any particular set of tree-ring measurements, a regular practice is to check the merged results in terms of the level of agreement reached among samples. If the pool of tree samples denotes a prominent similarity in their respective year-by-year growth patterns, we then refer to the presence of a high common variation in growth as a response to a single and dominant limiting factor over growth. Tree growth sufficiently limited by, for example, climate (e.g. when we move to more ecologically boundary areas) can produce better cross-dating performance between growth records and the finest dendroclimatic interpretations from the statistical comparisons between climate variables and tree growth records (Fritts, 1976). In this sense, site and tree selection are critical steps to maximize the information or the signal contained in the growth rings and to minimize the undesired variations representing noise (Schweingruber, 1986). However, dendrochronological collections could not always be fully composed by the most reliable trees to be used in deciphering a particular topic, in part because many growth aspects that occurred in the past are unknown to the researcher when he performs the field sampling, and because the most appropriate series cannot be determined until ring widths are carefully examined in the laboratory.

For this reason, not all samples are probably used in the construction of a tree-ring chronology from a particular site. Growth irregularities, large sample sectors containing extreme narrow rings with poorly differentiated boundaries, high frequency of absent and false rings, differences in the growth patterns or the weak or null correlation of a single tree-ring record with a master chronology may be strong reasons to exclude a tree-ring series from the construction of a tree-ring chronology. Differences in the growth patterns between trees could represent tree sub-populations growing at the same dendrochronological site and under apparent similar ecological conditions. These differences justify the identification of sub-groups of trees, which probably contain particular ecological information.

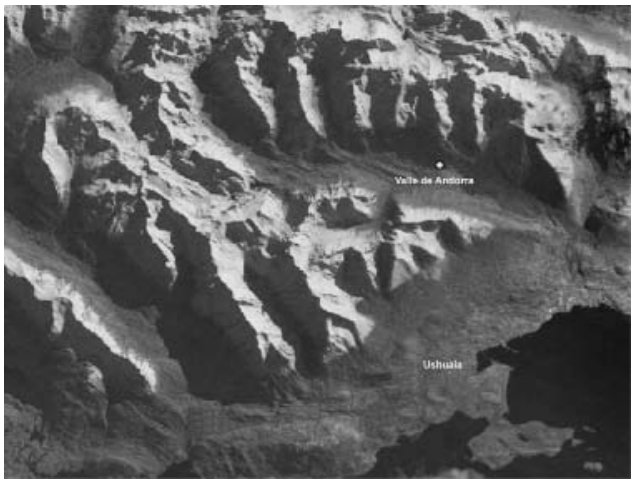


Figure 1 - Satellite image of the SW area of Tierra del Fuego. A white point indicates the study site in the Valle de Andorra.

The evaluation by different statistical methods of the agreement among series is a valuable approach in dendrochronology. The aim of this work is to show how some exploratory multidimensional ordination techniques can be successfully used to test the homogeneity of a dendrochronological synchronous time-series sample, taken from a case study. In particular, we explore the variation of the correlation structure along time as a tool to identify those periods in which major variation occurs.

The tree-ring data

Wood cores used in this study were taken from Nothofagus pumilio (Poepp. et Endl.) Krasser (commonly named lenga) trees growing in the mountain slopes of Valle de Andorra (54º 47'S; 68º 11'W; 250 m. a.s.l.) close to Ushuaia city in Tierra del Fuego, Argentina (Figure 1). The site is composed by a pure stand of Nothofagus pumilio trees (Boninsegna et al., 1989). Two increment cores (5 mm in diameter) per tree were perpendicularly taken at 1.3 m. above ground level from 20 trees. The wood samples were then processed using standard dendrochronological techniques (Stokes and Smiley, 1968), that included the ring width measurement (with a resolution of 0.01 mm by means of a sliding-stage micrometer connected to a computer) and the tree-ring date control by means of cross-dating procedures based on visual and statistical techniques (Holmes, 1983). This step helps in identifying the missing rings and other possible errors during the dating and measuring stage. After the cross-dating control, only 17 trees (and 23 radii) passed this rigorous test and were accepted as useful tree-ring series. For this study, we limited our attention to the synchronous part of the series, corresponding to 135 years, starting in 1850 and ending in 1984. So, the data table is composed by 23 series along 135 years.

Exploratory data analysis

In this work we set in an exploratory framework (Camiz, 2001, Camiz et al., 2008), the very first part of a quantitative study (Tucker, 1977; Diggle et al., 1994), a kind of detective work based only on cognitive methods, that could lead a researcher directly to formulate some hypotheses of structure, that could be later validated through confirmatory methods, based on statistical models. As no care is required in the sampling, their results, albeit valid for the considered sample, cannot be inferred to any population of reference, but can be taken into account for the following investigations. Thus we start with a classical exploratory tool, Principal Components Analysis (PCA, Lebart et al., 1995), a technique traditionally used in tree-ring analysis (Fritts, 1976) and useful to get a first contact with the data structure and identify some mayor elements of interest. In our case, we applied PCA to the data set with the years by row and the series by column, as suggested by Bry (1995). Thus, the resulting orthogonal factors, linear combinations of the original series, may be adopted as representative series, that is artificial series that can represent what is common among the ones correlated with them, so that they may approach a chronology.

Indeed, this procedure cannot exhaust the whole exploration and in fact we wanted to test to what extent the correlation among series was stable along time. For this task, we considered a mobile window and moved it along the data set: thus, we obtained a number of data tables of shorter periods, say a set of data tables composing a time-series itself. In the following, we shall refer to it as a table series. This table series has been analyzed through dual Statis technique (Lavit, 1988), a three-way method that allows a comparison among data tables of the principal components kind, provided that the data columns of all tables refer to the same variables. Indeed, through dual Statis, a PCA of a scalar product among the different data tables is performed, so that the pattern of the tables along time can be represented on principal planes. As a consequence, the important variation in the correlation structure from one table to another should be identified by some breakpoint in an otherwise continuous pattern. The investigation concerning the found breakpoints, done via the classical tools of PCA applied to the corresponding small tables and their graphical representations allowed a fine-tuned interpretation of the pattern of the correlation structure along time.

A short reminding of methodologies

Principal Component Analysis

PCA (Benzécri, 1982; Lebart et al., 1995; Langrand and Pinzón, 2009) is broadly known: it aims at finding orthogonal directions where most of the data scattering occurs. Once they are sorted according to the amount of inertia that is summarized on each one, the first few principal components may be a good synthesis of the total information of the original data table, provided that they summarize most of it. In our case, the first principal components may summarize each one the large inertia of a chronology constructed from a group of individual series, highly correlated with some of them.

Analysis of the table series

In the set of table series built by using the mobile window, each one differs from the previous one only by one row, since it is built from that one by dropping the first year row and adding the row corresponding to the next year following the last one. Thus, the window dimension identifies the distance between the replaced years and the sensitivity of the method, since the largest the windows the least sensitive is the method.

The table series was submitted to the Statis procedure (Lavit, 1988). It is a three-way data analysis method that may be applied to a family of data sets, as in our case indexed by the time, having either the units or the variables in common. In our case, where the same variables are observed on different units, the dual Statis was applied. To each table of the series a correlation matrix among the variables corresponds, so that a series of correlation matrices $S_i, i=1,\ldots,t$ results. A scalar product among these correlation matrices was established, as $s_{i,j} = \frac{trace(S_i S_j)}{\sqrt{trace(S_i S_i)\, trace(S_j S_j)}}$, giving a matrix of scalar products among the correlation matrices of the series. This matrix summarizes the relations among the variables of each

couple of tables and plays the same role of the ordinary correlation matrix among variables. So, its diagonalization through eigenanalysis gives a PCA that concerns the set of data tables, each one considered as a whole, thus playing the same role that the variables play in PCA. It is the so-called interstructure phase of Statis. Here, the tables can be represented on factor planes, and their reciprocal position interpreted in the usual way. Considering that only one row was modified from one table to the following, a rather regular pattern of the tables was expected on the graphics: thus, important breakpoints of this pattern should indicate a mayor change in the correlation structure from one table to the following.

Evolutive PCAs

We did not take full advantage of the Statis features, since we were not really interested in studying the three-way data structure, and the method is not apt to deal with such a high number of tables. Rather, to check in detail the meaning of the identified breakpoints, we performed the PCAs of all the tables in the series and arranged the main results in time series themselves. So, we got the series of the first, second, etc. eigenvalues, the series of the correlations between the first eigenvectors and the original series, etc. In this way, the relations among the breakpoints in the Statis graphics and the important variations of the eigenvalues and the correlations factors-series were ascertained through a set of graphics that revealed useful for the identification of the most important variations in the correlation structure along the years.

The results

The Principal Components Analysis

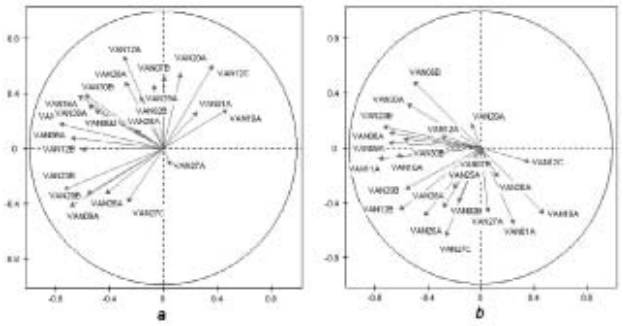


Figure 2 - Representation of the series on the correlation circle spanned by principal axes: a) 1 and 2; b) 1 and 3.

The PCA of the synchronous data table, ranging from 1850 through 1984 gives seven eigenvalues larger than 1, summarizing over 74% of the total variation, as measured by the total inertia of the units. Of these, the first three eigenvalues summarize over 48% of total inertia, so that, for the beginning, we can limit our study to the first three principal components, say the axes spanned by the eigenvectors corresponding to the said three eigenvalues. In Figure 2a and 2b the series are represented as vectors on the plane spanned by the principal components 1-2 and 1-3 respectively. The cosine of the angle formed by these vectors with the axes corresponds to the correlation between them. So, from the inspection of the figures we can say that the first factor is strongly negatively correlated with some series: V09A (48%), V23B (55%), V06A (47%), V11A (60%), and less strongly with V19A (22%). The second factor is strongly positively correlated with the series V07B (28%), V12A (45%), V20A (31%), and V12C (26%), whereas the series V27C is negatively correlated with it (15%). With the third factor the series V01A (31%), V19A (23%), and V27C (42%) are most negatively correlated.

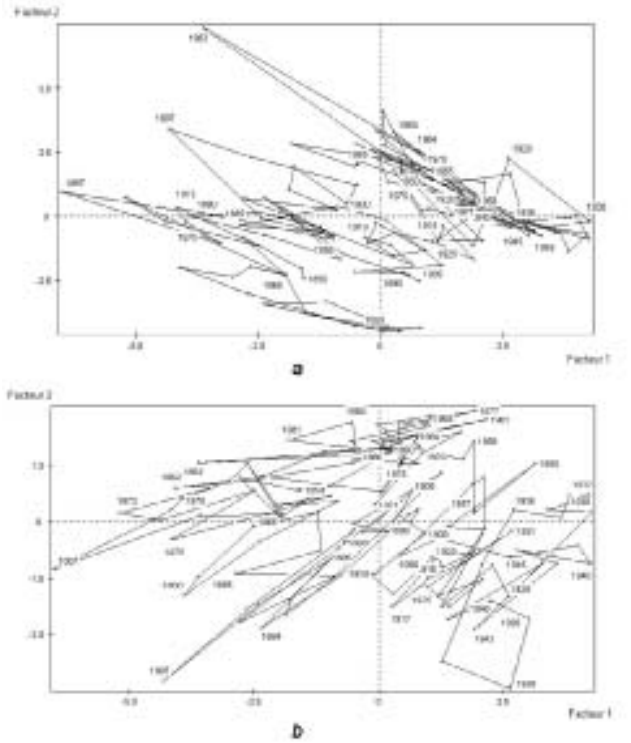


Figure 3 - Representation of the years on the plane spanned by principal axes: a) 1 and 2; b) 1 and 3.

Dropping the details and looking at the overall image, the interpretation of the pattern can be summarized as follows: the series are not all strongly correlated to each other, but both negative and zero correlations are visible, corresponding to opposition and independence respectively. With these conditions, it has no sense to search for a chronology with a strong common signal, but rather to conform separate chronologies from the subgroups defined by the PCA.

In order to interpret the position of the series in respect to the principal components, we can study the PCA results on the point of view of the units, in our case of the years. Thus, we could interpret the correlation of the series with the axes according to the pattern of the years along them. In Figure 3a and 3b, the pattern of the years is represented on the same

planes as before, say 1-2 and 1-3 respectively. Looking at Figure 3a a variation appears left-top vs. right-bottom due to the short-term years progression, and left-bottom vs. right-top due to the long-term time variation. Between 1912 and 1913 an important division is visible, since the second diagonal (dividing 2nd and 3rd quadrants) cuts definitely at that point the years sets before 1912 and after 1913. The pattern of the years on the plane 1-3 (Figure 3b) is much more confused, if possible, with the short-term variation represented by the opposition left-bottom vs. right-top and the long-term by a nearly circular pattern anticlockwise. The interpretation of this three-dimensional pattern of both years and series is difficult: one can certainly take into account that each year position depends positively on the values of the series oriented in its direction, so they should be higher, and negatively on the values of those series opposed to them, thus lower. So, observing the short-term variation, we can say that the year 1983 position is closed to V12A direction and actually the growth of V12A trees in 1983 was much larger than both 1982 and 1984. Similarly, 1897 highly influenced V16A since its value is higher than in both 1896 and 1898, etc. Instead, considering the long-term variation, one can say, e.g., that V09A and V12C have opposed behavior since the first series has higher values in the first years of observation and the latter has higher values in the last ones.

The Statis results

In order to study the variation of the series along time in a more detailed way, we used a moving window to look at the data table. A useful approach in the measure of the common signal strength in tree-ring series is the RBAR calculation (Wigley et al. 1984). This statistics is the average correlation between all series, which is an expression of the percentage variance in common. In our study we shall apply a three-way exploratory analysis technique and some graphical synthetical representation to summarize the results. In fact, we fixed a 25 years window and we shifted it along the table, producing 111 small data tables 25 x 23, indexed T001 through T111. So, table T001 contains the years from 1850 through 1874, table T002 the years from 1851 through 1875, etc., until table T111 that contains the years from 1960 through 1984. For this three-way data set special treatments are necessary.

It must be reminded that the observed differences depend on the substitution in each table of the first year with the one following the window. In practice, this means that the difference between two different tables is around 4% of the total table variation (one row over 25): a smaller window would mean a higher sensitivity, whereas a larger one would put in evidence only higher differences.

The Statis procedure is based on a correlation coefficient among data tables, in all analogous to the correlation among quantitative variables. In this way, performing a PCA of a set of data tables having the same variables, but corresponding to different units (in our case the different window of years) one can have an idea of the relations among the different data tables. Since in our case each table differs from the contiguous by only one year, it is expected that the pattern will be quasi-continuous, representing the time evolution.

The analysis gives as first eigenvalue 61.21 thus summarizing over 55% of total variation (that equals 111). Since the correlation of each table with the corresponding first eigenvector ranges between 60 and 85% one can say that there is a reasonable correlation among all tables, that indicates that the behavior of the series along time is not largely different. Actually, since the series are synchronous and taken in the same area, this means that the differences are not so high and due to either some local ecological conditions or noise. The position of the tables along the first axis reflects only their different correlation with this first factor, and we will not show it here. Instead, the pattern of the tables on the plane spanned by factors 2 and 3 can be inspected to detect some local important differences among tables. These can correspond to the more distant positions of two subsequent tables. Of course, as usual this distance is multidimensional, so that it should be inspected in a multidimensional space, but we can consider this one as a sufficient approximation.

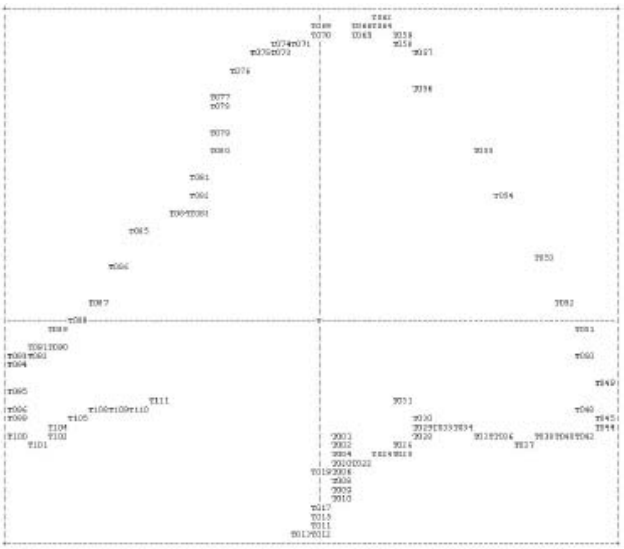


Figure 4 - Representation of the table series on the principal Statis plane spanned by axes 2 and 3.

In Figure 4 the pattern of tables along the plane spanned by the factors 2 and 3 is reported. Its arch form is typical of seriations treated with linear methods, also known as Guttman (1953; see also Camiz, 2005) effect. We can search here for larger distances among tables, so that we can see that mayor distances are among the tables T023 (under T022, years

ranging 1872 through 1896) and T024, T031 (1880 through 1904) distant from both (superposed) T030 and T032; the tables T053 (1902 through 1926) through T056 (1905 through 1929) seem quite different to each other, as T083 (1932 through 1956) through T087 (1936 through 1960). One must clearly understand the meaning of these differences: that of T023 depends on the drop of year 1871 and the inclusion of 1896, that of T031 from the appearance of year 1904 in the place of 1879, etc. Thus these are supposed to be the years more responsible of some major variation in the overall structure of the data sub-tables.

We do not step into further results of this technique that allows as well the representation of the variation of each series along time, since the inspection of so many tables seems really cumbersome. For a deeper insight of the data structure, we prefer to use some different method.

Synthesis of PCA time series

In order to have a more detailed insight of the data table structure, we thought that direct PCA of the 111 data sub-tables could be of higher interest, provided that a synthesized printout could be available. If fact, it ought to be excluded to study 111 printouts complete with graphics and tables. With the principle of exploratory analysis in mind, we decided, first of all, to pay attention to the evolution of the eigenvalues along time. In Figure 5 the first three eigenvalues of the 111 tables are reported. Looking at the graphics, one can see immediately some important variations in the pattern that should be inspected in detail.

At first sight, the most important variations are visible on the first eigenvalues that represent the overall coherency of the sub-tables. Their overall pattern is descending, regardless of the local variations: in fact they drop from about 8.5 at the beginning of the period down to 6 at the end. This means that the importance of the main uni-dimensional structure drops of about 25% along time. This is not balanced by the small increase of the following two eigenvalues, so that the three-dimensional representations of the structure drop from around 65% to around 58%. Looking at the local variations, one notices first an important negative fluctuation of the first eigenvalues from tables T006 through T018, corresponding to the year intervals 1855-1879 through 1866-1890, with a minimum corresponding to table T012, say the years 1861-1885. This variation corresponds to a positive fluctuation of the second eigenvalues that only partially counterbalance that of the first ones, so that the cumulative variations show a corresponding negative fluctuation. A second very important variation ranges from table T048 (years 1897-1921) through T061 (years 1910-1934) with the minimum in tables T054 and T055 (years 1903-1927 and 1904-1928); in this case the third eigenvalues fluctuate positively whereas the seconds do not vary very much.

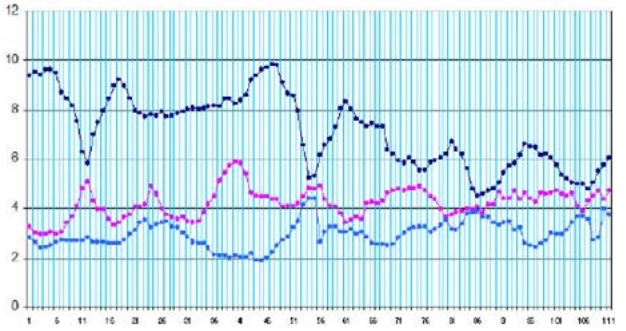


Figure 5 - The evolution along time of the three first eigenvalues of the table series.

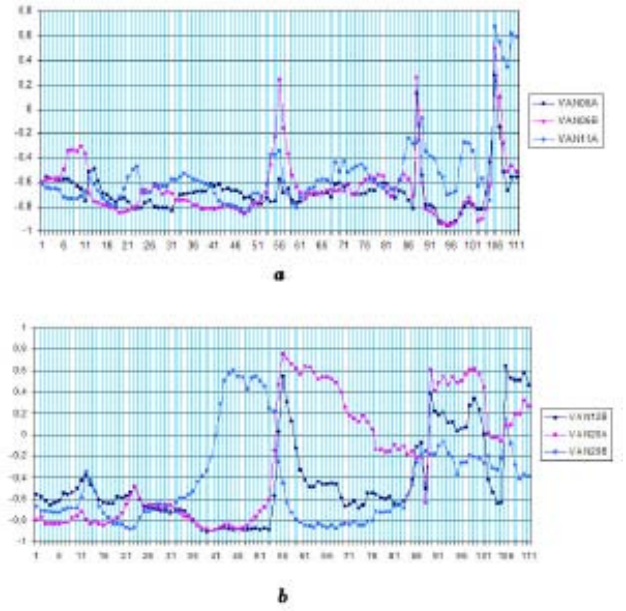


Figure 6 - The evolution of correlation of some tree-ring series with the first principal components along time.

For a first study in detail, we can concentrate our attention to these particular sub-tables, in particular to the last years entered in the sub-tables composition: they are 1885, 1927 and 1928. It must be noted that these two years were as well outlined by Statis analysis, where tables T012, T054, and T055 resulted further from those around them. Let us look then at the tables showing the evolution of the correlations of single series with the eigenvectors along time. This should inform about the variation in the composition of the eigenvectors as linear combinations of the original variables.In fact, one can suppose that important variations in the eigenvalues should correspond to a variation of the corresponding eigenvectors compositions. In the following, we concentrate our attention to the years 1927 and 1928.

In Figure 6a the correlations between the series V06A, V06B, and V11A and the first eigenvectors are reported, as the series having in average the highest correlation with them. Actually,

their pattern along the years is very coherent. In Figure 6b there are those of series V12B, V29B, and V20A: they were not superposed to the others to ease the inspection, otherwise too difficult. If we look at the period of our specific interest, we see that V06B correlations drop dramatically and change in sign, whereas the series V12B, V29B, and V20A change the sign of the correlation in the same period. Thus, the meaning of the first factors change in that period. This gives reason of the important variation detected in the eigenvalues pattern and one can verify the data variation in that period to get specific information.

Discussion

In the PCA the percentage of variability contained in the first three principal components is (48%). In the graphical representation (Figure 2), the pattern of the series vectors shows an overall weak correlation between them, that would be a hindrance for the construction of either an average tree-ring series or a chronology. The analysis would show that the set of the 23 considered series is so heterogeneous that particular growth characteristics of the considered trees.

Another interesting feature of the analyses of this group of trees is the clear separation that can be observed on the principal plane 1-2 among the years preceding 1912 and those following 1913 (Figure 3a), that highlights a change in the growing pattern before and after these years. The same pattern is observed on the Statis applied to the table series results (Figure 4) and on the corresponding evolution of the eigenvalues (Figure 5). Here, the change in structure is observed around table T054, that contains the years 1912-13. Indeed, this variation is not so evident when the correlation among series and principal components is studied (Figure 6), because the two first principal components incorporate this variation, so that the correlation between variables and components does not vary much along time.

Conclusion

In dendrochronology, the production of a good-quality tree-ring chronology is critical in order to improve the models between tree growth and climate variation. To reach this goal, the tree-ring series in a particular site must share a high degree of resemblance of their variation pattern. A high resemblance of growth usually results in a chronology statistically strongly tied to the climate and viceversa. Some non-climatic influences to tree-growth may be identified due to the evidence of either physical or biological factors, such as fires, lightning strike, wind damage, logging or other disturbances. These factors may have operated in the past, but this may result difficult to detect through external morphology inspection of the trees at the sampling time. For this reason, these factors that carry noise in the data may be accidentally incorporated in a chronology, unless they may be detected through tree-rings data analysis. Among dendrochronologists two different opinions are standing. The first argues that all wood samples collected during the sampling field work ought to be included in a chronology, since each series, with its special growth features, share part of the total growth variation. The second opinion argues that the information carried by a series pool must be filtered, that is, one must work with series subgroups, or select those series with the maximum as possible agreement among their growth variability patterns.

Multidimensional analysis may be used to measure the growth pattern similarity between trees or to recognize population subgroups by discovering differences in the growth characteristics. The exploratory methods introduced in this work may help in this sense or provide arguments to explore data by other more specific and sophisticated methods.

In this contribution, we drove our attention on both static and evolutive PCA analysis, in order to see to what extent these methods may be used in the statistical analysis of tree-ring series. These results show that the application of exploratory analysis opens a broad field of applications. In particular, a potential utility is the recognition of likely subgroups in a tree population through some characteristic differences in growth that may facilitate the search of particular signals in relation to different environmental influences over growth.

Acknowledgement

This work was carried out in the frame of the bilateral agreement between Sapienza Università di Roma (Italy) and the Universidad Nacional de Cuyo (Mendoza, Argentina), granted by both universities in the years 2003-2009. The participation to the congress was granted by Scientific Attaché Office of the Italian Embassy in Buenos Aires. Their contribution is gratefully acknowledged.

References

- Benzécri, J.P. et coll., 1982, L'Analyse des Données, 2 Tomes, Paris, Dunod.
- Boninsegna, J. A., J. Keegan, G. C. Jacoby, R. D. D'Arrigo, and R. L. Holmes, 1989, "Dendrochronological studies in Tierra del Fuego, Argentina". Quaternary of South America & Antarctic Peninsula, 7: pp. 305-326.
- Bry, X., 1995, Analyses factorielles simples, Paris, Economica.
- Camiz, S., 2001, "Exploratory 2- and 3-way Data Analysis and Applications", Lecture Notes of TICMI, Tbilisi University Press, vol. 2.
- Camiz, S., A. Altieri, and F. Manes, 2008, "Pollution Bioindicators: Statistical Analysis of a Case Study", Water Air and Soil Pollution, 194(1-4): pp. 111-139.

- Diggle, P.J., K.Y. Liang, and S.L. Zieger, 1994, Analysis of Longitudinal Data, Oxford, Clarendon Press.
- Fritts, H.C., 1976, Tree Rings and Climate, London, Academic Press.
- Guttman, L., 1953, "A Note on Sir Cyril Burt's Factorial Analysis of Qualitative Data", British Journal of Statistical Psychology, 6: pp. 1-4.
- Holmes, R.L., 1983, "Computer-assisted quality control in tree-ring dating and measurement", Tree-Ring Bulletin, 43: pp. 69-78.
- Langrand, C. and L.M. Pinzón, 2009, Análisis De Datos. Métodos y ejemplos, Bogotá, Escuela Colombiana de Ingenieria Julio Garavito.
- Lavit, C., 1988, Analyse Conjointe de Tableaux Quantitatifs, Paris, Masson.
- Lebart, L., A. Morineau, and M. Piron, 1995, Statistique exploratoire multidimensionnelle, Paris, Dunod.
- Schweingruber, F.H., 1996, Tree Rings and Environment Dendroecology, Bern, Haupt.
- Stokes, M.A. and T.L. Smiley, 1968, An Introduction to Tree-Ring Dating, Chicago, IL, University of Chicago Press.
- Tukey, J.W., 1977, Exploratory Data Analysis, Reading, Addison-Wesley (quoted by Diggle et al., 1994).
- Wigley, T.M.L., K.R. Briffa, and P.D. Jones, 1984, "On the average value of correlated time series, with applications in dendroclimatology and hydrometeorology", Journal of Climate and Applied Meteorology, 23: pp. 201–213.

EVALUACIÓN DE INDICADORES DE CALIDAD DE SUELOS EN LA REGION PAMPEANA

Civeira, G. ;Paladino, I.; Irigoin, J.; Moscatelli, G.

Instituto de Suelos INTA Castelar, Las Cabañas y los Reseros s/n

gciveira@cnia.inta.gov.ar

Palabras clave

- calidad suelos
- Región Pampeana
- usos de la tierra
- propiedades edáficas

RESUMEN

El uso de indicadores de calidad de suelos permite señalar condiciones, tendencias y a su vez cuantificar el impacto humano y natural sobre los suelos identificando las prácticas de manejo más adecuadas. Los indicadores no son universales, deben ser elegidos en función del tipo de ambiente, de la región, del uso del suelo bajo estudio y del nivel de percepción o análisis. El objetivo de este trabajo fue seleccionar Indicadores de Calidad sensibles a la ubicación geográfica y al uso de suelos en la Región Pampeana. Para este trabajo se evaluaron diversas propiedades físicas y químicas en suelos representativos pertenecientes a distintas subregiones geográficas de la Región Pampeana (Noroeste; Oeste y Sudeste) todas las series de suelos evaluadas fueron clasificadas como Molisoles y contabilizaron un total de 98 sitios de muestreo. Las series relevadas fueron analizadas a través del análisis de la varianza y el test de Tukey identificando cuales variables o parámetros difirieron significativamente entre los distintos factores: situaciones de uso y subregiones geográficas. Posteriormente se agruparon las variables seleccionadas con el método de componentes principales (CP). Los factores subregión y uso afectaron a varios parámetros: estabilidad de agregados medida a campo (EA), pérdida de horizonte superficial, densidad aparente (Dap) y los relacionados con la fertilidad de los suelos: MO, N y P, los cuales están estrechamente asociados al horizonte superficial. Los suelos del oeste de la Región Pampeana y bajo agricultura continúa son los que presentaron mayores perdidas del horizonte A, menores niveles de EA, de Dap y de contenidos de MO, N y P en relación con las otras subregiones (Noroeste y Sudeste) y usos (cuasipristino y agricola-ganadero). El setenta y cinco por ciento de la varianza total fue explicada por los primeros tres CP. El CP1 explicó el 33% de la varianza e incluyó a tres parámetros físicos significativos: EA, IE y pérdida de horizonte A. El CP2 explicó el 18% de la varianza total e incluyó dos parámetros químicos positivos: MO y N total. El CP3 explicó el 13% de la varianza total e incluyó al pH como único parámetro químico y positivo. En el análisis de CP se observaron dos grupos, uno que incluyó a los suelos cuasipristinos o no disturbados y a los agricolo-ganaderos y el otro que presentó los suelos bajo agricultura continua. No hubo efectos significativos de las diferentes subregiones en el CP1 y CP2.

INTRODUCCIÓN

En la Argentina, donde se ha registrado una singular intensificación del uso agropecuario, tanto en regiones tradicionalmente destinadas a ese fin, como en tierras frágiles de menor aptitud, surge desde diferentes ámbitos una especial preocupación por las consecuencias de la creciente presión sobre los recursos naturales en general y el suelo en particular. Un denominador común entre los elementos estratégicos para alcanzar la sustentabilidad de los agroecosistemas es el mejoramiento y conservación de la fertilidad y productividad del suelo (Conway y Barbier, 1990; De la Rosa y Sobral, 2008). Para este fin, administradores de recursos, investigadores, científicos y quienes toman decisiones, requieren herramientas que proporcionen información sobre el curso que seguirá la evolución de las propiedades del suelo, cuando sea sometido a diferentes condiciones de manejo (Cuevas et al, 2004).

A comienzos de la década 90 se observó en los países centrales un fuerte interés por preservar la Calidad del Suelo. Este concepto se refiere específicamente a aspectos físicos, químicos y biológicos del suelo, los cuales sufren modificaciones respecto de su condición natural como consecuencia de la intervención antrópica y constituye en la actualidad un área de estudio de creciente importancia. El concepto de calidad de suelo según Doran y Parkin (1994) puede definirse como: “la capacidad del suelo para sostener una productividad biológica, funcionando dentro de los límites del ecosistema, manteniendo la calidad del ambiente y promoviendo la salud de las plantas y animales”. Por otra parte, los términos Calidad y Salud son utilizados como

sinónimos por algunos autores, mientras que otros describen a la calidad como la condición natural de los suelos y a la salud como el grado de mantenimiento de esa calidad (Moscatelli et al., 2006).

Trasladar los principios de la sustentabilidad a la práctica significa cambiar la forma en que se toman las decisiones, para ello los indicadores juegan un rol fundamental, señalando condiciones y tendencias (Bie, 2001). Además, permiten valorar el impacto humano y natural sobre los suelos e identifican las prácticas de manejo más adecuadas para lograr una agricultura sustentable (Doran y Parkin, 1994).

Las propiedades que definen la calidad de los suelos deben ser medibles (atributos). Asimismo, la calidad no puede ser caracterizada por un simple parámetro sino que debe ser evaluada como función de varias propiedades físicas, químicas y biológicas, independientes y/o correlacionadas, que pueden cambiar en diferentes escalas espaciales y temporales (Halvorson, 1997). Por lo general, no existe un acuerdo en la selección de los indicadores que permitan una acabada caracterización y monitoreo de la calidad del suelo (Wander y Bollero, 1999) ya que éstos no son universales. Los atributos o propiedades deben ser elegidos en función del tipo de ambiente, del suelo bajo estudio y de acuerdo al nivel de percepción o análisis (Cantú, 2002). En la Pampa ondulada Michelena et al. (1989) monitorearon varias propiedades de suelos a una escala regional (1:200 000), para establecer indicadores de calidad de suelos y sus rangos. Estos autores observaron una disminución moderada y severa de la calidad de suelos debido al uso agronómico. Los indicadores que sufrieron los mayores cambios debido al manejo fueron el carbono orgánico (CO), el Nitrógeno total (N total), el P extractable, el pH, la estabilidad de agregados (EA) y la infiltración. Sin embargo, debido a las diferencias en las características inherentes de los suelos, los indicadores de calidad pueden no ser los mismos para cada sitio o subregión. Por ejemplo, Vazquez et al (1990, 1991) y Madonni et al (1999) mostraron mayores disminuciones en el contenido de P y la EA que en el CO y el Nt para situaciones de uso intensivo del suelo en la Región Pampeana.

Con el fin de obtener un diagnóstico orientativo a nivel de lotes agrícolas, el Proyecto INTA Indicadores de Calidad y Salud de Suelos adaptó un equipo de campaña y un conjunto de procedimientos, a partir de la propuesta original del Soil Quality Institute (SQI, USDA) donde se utiliza un conjunto de determinaciones simples implementadas en el uso de una valija de campo además del análisis en laboratorio de algunas propiedades seleccionadas (Moscatelli, et al. 2006). El objetivo de este trabajo fue seleccionar Indicadores de Calidad sensibles a la ubicación geográfica y al uso de suelos en la Región Pampeana. Para este trabajo se evaluaron diversas propiedades físicas y químicas en suelos representativos pertenecientes a distintas subregiones geográficas de la Región Pampeana (Noroeste; Oeste y Sudeste) en el marco del proyecto mencionado en el párrafo anterior.

MATERIALES Y MÉTODOS

Para este trabajo se evaluaron diversas propiedades físicas y químicas en suelos representativos pertenecientes a distintas subregiones geográficas de la Región Pampeana (Noroeste; Oeste y Sudeste) todos los tipos de suelos evaluados fueron clasificados como Molisoles y contabilizaron un total de 98 sitios o lotes de muestreo. Los sitios de muestreo fueron evaluados como unidades experimentales seleccionadas al azar en cada subregión. El factor situaciones de uso incluyó los siguientes escenarios: cuasi prístino o no disturbado (sin utilización por 20 años o mas), agrícola-ganadero (en fase ganadera) y agricultura continua (rotaciones del lote con maíz, trigo o soja bajo labranza cero). Una amplia variedad de aplicaciones de fertilizantes, pesticidas y otras prácticas agronómicas fueron usadas en los sitios relevados. El factor subregiones geográficas agrupó suelos y características climáticas: Noroeste, Oeste y Sudeste. En cada sitio y para el horizonte superficial (0-20cm)se midieron las siguientes variables edáficas: estabilidad de agregados a campo (Doran 1998), Estabilidad de agregados en laboratorio (De Lenheer y De Boodt, 1958), espesor del horizonte superficial: erosión o disminución del espesor del horizonte A por comparación con el espesor del horizonte del suelo patrón, pH a campo (cintas de pH Merck) y pH actual en laboratorio (en relación 1:2.5)(Thomas, 1996), contenido de materia orgánica (MO) por Walkley y Black (Jackson, 1982), nitrógeno total (N) por Kjeldahl, conductividad eléctrica (CE), fósforo asimilable (P) por Kurtz y Bray I (Sparks, et al.,1986), densidad aparente (Dap) por el método del cilindro modificado (Irurtia, 2003), índice de estructura e infiltración básica (método de anillo simple) (Doran 1998). Los sitios relevados fueron analizados a través del análisis de la varianza y el test de Tukey identificando cuales variables o parámetros difirieron significativamente entre situaciones de uso y subregiones geográficas. Posteriormente se agruparon las variables seleccionadas con el método de componentes principales. Este análisis fue usado para mostrar relaciones entre las propiedades de los suelos y para identificar diferencias entre usos y subregiones.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Propiedades físicas

Los resultados del ANOVA están sintetizados en la Tabla 1. Los factores uso y subregión afectaron a la mayoría de las variables (Tabla 2). La variable infiltración, no presentó diferencias significativas debido a los al uso y las subregiones y por lo tanto no fue evaluada en los análisis posteriores

(Tabla 1). La estabilidad de agregados evaluada a campo fue significativamente afectada por las subregiones y fue mayor en el SE y NO que en el O (Tabla2). Entre los tratamientos de uso la estabilidad de agregados aumentó en el siguiente orden: agricultura<agric-ganadero<cuasipristino. Asimismo, la estabilidad de agregados medida en el laboratorio fue significativamente menor en la subregión O que en las otras áreas (Tabla 2). Esta variable no fue afectada por los diferentes usos (Tabla 1). La erosión o pérdida del horizonte A fue significativamente mayor en los suelos de la subregión O que en el NO y SE (Tabla 2). Las situaciones de uso también afectaron significativamente a esta variable en el siguiente orden: agric- gan>agricultura>cuasipristino.

El índice de estructura (IE) no presentó diferencias significativas debido al factor subregión (Tabla 1). El IE fue significativamente afectado por los diferentes usos y fue mayor en las situaciones cuasipristinas que en las agricolas-ganaderas y en las estrictamente agrícolas (Tabla 2). La densidad aparente (DAP) fue mayor en O y menor en NO y SE. Entre los distintos usos la DAP aumentó en el siguiente orden: cusipristino<agric-gan<agricola (Tabla 2). Es probable que las diferencias en la EA, el IE y la DAP dentro de la región se deban a los contenidos variables de MO y textura de los distintos suelos que se encuentran presentes en ellas y las relaciones positivas entre las propiedades físicas y la MO. Las diferencias observadas en las variables debido a los distintos usos fueron consistentes con los resultados obtenidos por otros autores para suelos de la región (Buschiazzo et al, 1998; Micucci & Taboada, 2006; Moscatelli y Pazos, 2000; Urricariet & Lavado, 1999). Estos autores documentaron efectos negativos del uso del suelo sobre la fertilidad física. Además, las situaciones donde hubo agricultura continua presentaron una marcada disminución de la materia orgánica y el contenido de nutrientes en los suelos.

Propiedades químicas

La MO y el N total variaron significativamente entre subregiones y usos (Tabla 1). Los contenidos de MO y N total fueron mayores en SE que en las otras subregiones (Tabla 2). Las situaciones cuasipristinas presentaron mayores contenidos de MO y N total que en los otros usos del suelo. El contenido de MO en los suelos relevados, permitió diferenciar entre situaciones cuasi prístinas y agrícolas, pero no pudo identificar divergencias entre sistemas agrícolo-ganaderos y agrícolas. Esto es semejante a lo observado por varios autores para suelos de la Región Pampeana y de otras regiones del mundo (Brejda et al., 2000; Cantú et al., 2007; Ferreras, et al 2007; Tan et al, 2004 Urricariet y Lavado; 1999). El P extractable fue significativamente afectado por las subregiones y el uso (Tabla 1). El contenido de P extractable fue menor en el O que en el NO y SE (Tabla 2). Entre los diferentes usos, el P extractable disminuyó en el siguiente orden: cuasipristino> agric-ganadero> agricultura. A pesar de las diferencias, los valores de P extractable estuvieron dentro de los rangos adecuados en todos los casos (Tabla 2). El pH medido en laboratorio fue significativamente afectado por la subregión, pero no por el factor uso donde se observó disminuyó en el siguiente orden: NO=SE>O (Tabla 1 y 2). El pH medido a campo y la conductividad eléctrica no presentaron diferencias significativas debido a los factores analizados y por lo tanto fueron excluidas de los análisis posteriores.

Análisis de componentes principales a las propiedades físicas y químicas

Luego del ANOVA, las propiedades seleccionadas fueron analizadas con el método de componentes principales (ACP). Este análisis fue hecho para localizar relaciones entre las propiedades de los suelos e identificar diferencias entre usos y subregiones. El ACP para las variables físicas y químicas se encuentra resumido en la Tabla 3. Solo los CP con autovalores mayores a 1 y que explicaron al menos 5% de la varianza total fueron retenidos para su posterior interpretación.

El setenta y cinco por ciento de la varianza total fue explicado por los primeros tres CP. El CP1 explicó el 33% de la varianza e incluyó a tres parámetros físicos significativos (Tabla 3). La EA (laboratorio) y el IE presentaron valores positivos y fueron contrarios a la pérdida de horizonte A. La calidad de los suelos aumenta a mayor EA y en consecuencia con menor erosión del horizonte superficial (Harris et al. 1996). El CP2 explicó el 18% de la varianza total e incluyó dos parámetros químicos positivos: MO y N total (Tabla 3). Por lo tanto, los suelos con alto valor de CP2 presentaron mayores contenidos de MO y N total y en consecuencia, mayor calidad. El CP3 explicó el 13% de la varianza total e incluyó al pH como único parámetro químico y positivo. Los suelos con altos valores de CP2 y CP3 fueron relativamente fértiles (los valores aumentaron con MO, N total y pH).

En el análisis de CP se observaron dos grupos, uno que incluyó a los suelos cuasipristino y a los agricolo-ganaderos y el otro que presentó los suelos bajo agricultura continua (Figura 1). No hubo efectos significativos de las diferentes subregiones en el CP1 y CP2 (Figura 2). Los suelos cuasipristinos y agricolo-ganaderos presentaron mayores valores de CP1 que los agrícolas. Asimismo, el CP2 fue menor para los suelos bajo agricultura continua y mayor para los cuasipristinos y agricolo-ganaderos (Figura 1). Los suelos con alto CP1 y alto CP2 estuvieron físicamente consolidados y presentaron alta fertilidad química.

Estos resultados son consistentes con los efectos del manejo sobre la disminución de materia orgánica, la fertilidad física

y el contenido de nutrientes de los suelos de la región (Buschiazzo et al, 1998; Urricariet & Lavado, 1999; Micucci & Taboada, 2006). Consecuentemente, en los suelos de la región pampeana las propiedades que más influyeron en diferenciar entre situaciones cuasi prístinas y agrícolas fueron las relacionadas con la estabilidad de los agregados, la erosión y el contenido de materia orgánica. Estos resultados permitirían formular un índice de calidad de suelos basado en las siguientes propiedades seleccionadas por los métodos utilizados: EA, IE, pérdida de horizonte superficial, MO, N total y pH.

CONCLUSIONES

El ANOVA mostró los efectos generales de la agricultura, de las situaciones no disturbadas y de las subregiones sobre cada parámetro de forma individual. Por otro lado, el ACP de todos los datos identificó que variables difirieron en mayor medida y cuales fueron más informativas, menos redundantes y únicas entre situaciones de uso y subregiones. Las relaciones encontradas entre indicadores permitirán en un futuro reducir el número de determinaciones a campo y en laboratorio. Tanto los suelos no disturbados como los agricolo-ganaderos mejoraron las propiedades físicas y químicas. Las situaciones bajo agricultura continua alteraron en mayor medida al IE, a la EA, y los contenidos de MO y N total. Por lo tanto, el nuevo conjunto de indicadores a relevar debería incluir estos parámetros ya que presentan alta sensibilidad al manejo y tienen mayor relevancia ambiental.

BIBLIOGRAFIA

- Bie SW.; A Baldascini & JB Tshirley. 2001. El contexto de los indicadores en la FAO, pág. 19. En Boletín FAO Nº 5, Indicadores de calidad de la tierra y su uso para la agricultura sostenible y el desarrollo rural. Roma, Italia.
- Brejda, J; D Karlen; J Smith & D Allan. 2000. Identification of Regional Soil Quality Factors and Indicators:II. Northern Mississippi Loess Hills and Palouse Prairie. Soil Sci. Soc. Am.J. 64:2125-2135.
- Buschiazzo, DE; JL Panigatti & PW Unger. 1998. Tillage effects on soil properties and crop production in the subhudi and semiarid Argentinean Pampas. Soil Till. Res. 49:105-116.
- Cantú MP; AR Becker; JC Bedano; T Musso & HF Schiavo. 2002. Evaluación de la calidad ambiental y calidad de suelos mediante el uso de indicadores e índices. Actas del XIII Congreso Argentino de Ciencia del Suelo. Puerto Madryn, Chubut (CD).
- Cantú, MP; A Becker; JC Bedano & F Schiavo. 2007. Evaluación de la calidad de suelos mediante el uso de indicadores e índices. Ciencia del Suelo 25(2):173-178.
- Conway GR & E Barbier.1990. After the Green Revolution: Sustainable agriculture for Development. London: Earthscan.
- Cuevas JB; JF Dörner & AS Ellies. 2004. Elementos de física y mecánica para evaluar la sustentabilidad de suelos agrícolas. Revista de la Ciencia del Suelo y Nutrición Vegetal, Vol. IV N° 2, pp. 1-13.
- De la Rosa, D & R Sobral. 2008. Soil Quality and methods for its assessment. In: Land use and soil resources. Braimoh, A. y Vlek, P. Editors. Springer.
- DeLeenheer and M.De Boodt. 1958. Determination of aggregate stability by the change in mean weight diameter. Procedings of the International Symposium. Soil structure. Ghent. Belgica.
- Doran JW & TB Parkin. 1994. Defining and Assesing Soil Quality en Defining Soil Quality for a Sustainable Environment. Doran J. W., Coleman D. C., Bezdicek D. F., Stewart B. A. (Eds). SSSA Special Publication Number 35. Madison, Wisconsin, USA.
- Ferreras, L; G Magra; P Besson; E Kovalevski & F Garcia. 2007. Indicadores de calidad física en suelos de la region pampeana norte de Argentina bajo siembra directa. Ciencia del suelo 25(2):159-172.
- Halvorson JJ; JL Smith & RI Papendick. 1997. Issues of scale for evaluating soil quality. Journal of Soil and Water Conservation Jannuary-February : 26-30.
- Irurtia, C. 2003. Proyecto Nacional nº 52 2205. Selección, medición y seguimiento de indicadores edáficos para desarrollar una red de monitoreo de la calidad-salud de los suelos en la región Pampeana. Instituto de Suelos, Centro de Investigación de Recursos Naturales – INTA. Director del Proyecto Lic. Gustavo Moscatelli.
- Jackson, LM. 1982. Análisis químico de suelos. Editorial Omega. 4ta Edición. Barcelona. España. 662 pp.
- Michelena, R.O., C.B, Irurtia, F.A. Vavruska, R., Mon y A. Pittaluga. 1989. Degradación de suelos en el Norte de la Región Pampeana. Publ.Tec.6. INTA. Centros regionales de Buenos Aires Norte, Córdoba, Entre Ríos y Santa Fé. Proyecto de Agricultura Conservacionista.
- Micucci, F & MA Taboada. 2006. Soil physical properties and soybean (Glycine max, Merril) root abundance in conventionally and zero tilled soils in the humid Pampas of Argentina. Soil Till. Res. 86: 152-162.
- Moscatelli, G y Pazos M.S. 2000. Soils of Argentina Nature and use. En: I. Kheoruenromne and S. Theerawong (Eds.) 2000. Proceedings of International Symposium on Soil Science: Accomplishments and Changing Paradigm towards the 21st Century, 81-92. ISBN 974-87749-4-5.
- Moscatelli, G; R & C Irurtia. 2006. Medición práctica de indicadores de salud edáfica. El equipo del INTA Castelar. XIV Congreso de AAPRESID, Rosario, Argentina.99-104.
- Sparks, DL.; AL Page; PA Helmke; RH Loeppert; PN Soltanpour; MA Tabatabai; CT Johnson & ME Sumner (eds). 1996. Methods of soil analysis. Part 3. Chemical Methods. ASA-SSSA Book Series. Madison WI. USA. 1390 Pp.

- Tan, ZX; R Lal; NE Smeck & FG Calhoun. 2004. Relationship between surface soil organic carbon pool and site variables. Geoderma 121: 187-195.
- Thomas GW. 1996. Soil pH and soil activity. En: Methods of soil analysis. Part 3. Chemical Methods. Ed.: D. L. Sparks.SSSA Book Series 5. Madison, Wisconsin, USA. Cap 16: 475:490.
- Urricariet, S & RS Lavado. 1999. Indicadores de deterioro en suelos de la pampa ondulada. Ciencia del Suelo 17:37-44.
- Wander, MM & GA Bollero. 1999. Soil quality assessment of tillage impact in Illinois. Soil Science Society of America Journal 63: 961-971.

TABLAS Y GRÁFICOS

	Factores	
	Subregion	**Uso**
Parámetros	ANOVA valor *P*	
EA(campo)	0,001	0,01
EA %(lab)	0,002	NS
Erosión %pérdida A1	0,004	0,003
Indice Estruct %	NS	0,03
Dap (g/cm3)	0,006	0,001
Infiltración (mm/h)	NS	NS
MO (%)	0,001	0,002
N total (%)	0,002	0,001
Pasim (ppm)	0,004	0,003
Ce (mmhos/cm)	NS	NS
pH (a campo)	NS	NS
pH agua (laboratorio)	0,004	NS

Tabla 1: Resultados del Análisis de la varianza (ANOVA) para los parámetros físicos y químicos. Diferencias significativas al p<0.05. NS: no significativo

	propiedades físicas				
	EA campo	EA laboratorio	Erosión pérdida A	IE	DAP
Subregión		%	%	%	g cm^{-3}
NO	2,8a	49a	18b	50a	1,38b
O	2b	42b	25a	45a	1,41a
SE	2,9a	47a	19b	43a	1,37b
Uso					
cuasipristino	3a	55a	5a	95a	1,25a
agricultura	1,67b	49a	19b	43b	1,31b
agric-gan	1,17b	48a	21b	41,5a	1,29ab

	propiedades químicas			
	MO	N total	P asim	pH
Subregión	%	%	ppm	laboratorio
NO	3,1b	0,11b	27a	5,9a
O	2,5c	0,09c	15b	5,4b
SE	3,6a	0,19a	25a	6,1a
Uso				
cuasipristino	3,55a	0,2a	35a	5,8a
agricultura	2,8b	0,15b	22c	6,1a
agric-gan	3,1b	0,12b	30b	6,2a

Tabla 2: Efectos de la subregión y el uso del suelo sobre los parámetros seleccionados. Valores de las medias de las propiedades físicas y químicas.

Las comparaciones fueron hechas mediante el análisis de varianza (ANOVA) y el test de Tuckey para obtener las diferencias significativas entre las medias. Letras diferentes entre columnas indican diferencias significativas al p<0.05. NS: no significativo

	Componente principal		
	CP1	CP2	CP3
autovalores	2.96	1.65	1.23
% de la varianza	32.88	18.33	13.67
% acumulado	32.88	51.22	75.70
	valores de componentes rotados		
Estab. Agreg a campo	-,175	-,260	-,717
Estab. Agreg% (laboratorio)	,722*	,353	,047
Erosión %pérdida A1	-,784*	-,051	-,137
MO %	,137	,960*	,072
N total	,070	,966*	,124
Pasim ppm	,484	,133	-,104
pH agua (laboratorio)	,012	-,046	,901*
D ap (g/cm3)	-,520	,207	-,150
Indice Estruct. %	,798*	,085	,129

Tabla 3. Primeros tres componentes principales de las variables retenidas. Solo se retuvieron los CP con autovalores > a 1. Método de rotación: Normalización Varimax con Kaiser. La rotación ha convergido en 4 iteraciones.

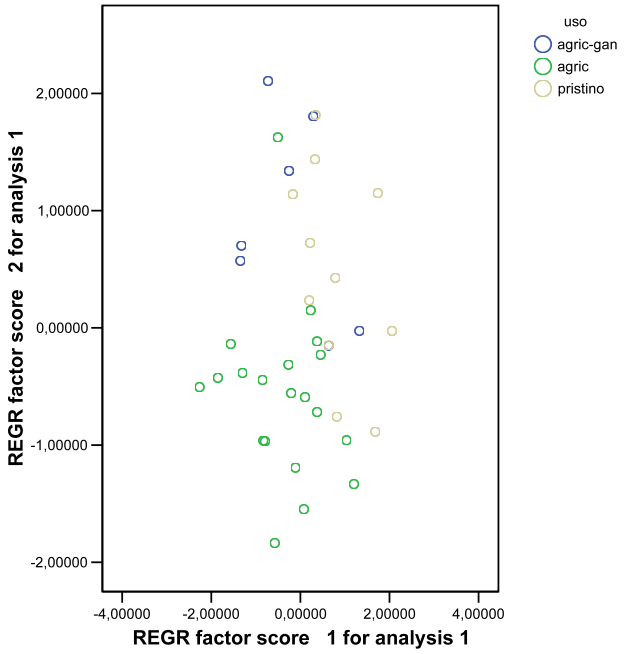


Figura 1. Efectos de los distintos usos sobre el CP1 y el CP2 de todos los parámetros seleccionados. Los símbolos individuales representan los valores de cada lote muestreado y su correspondiente uso: agrícola ganadero(agric-gan), agrícola (agric) y cuasipristino (pristino).

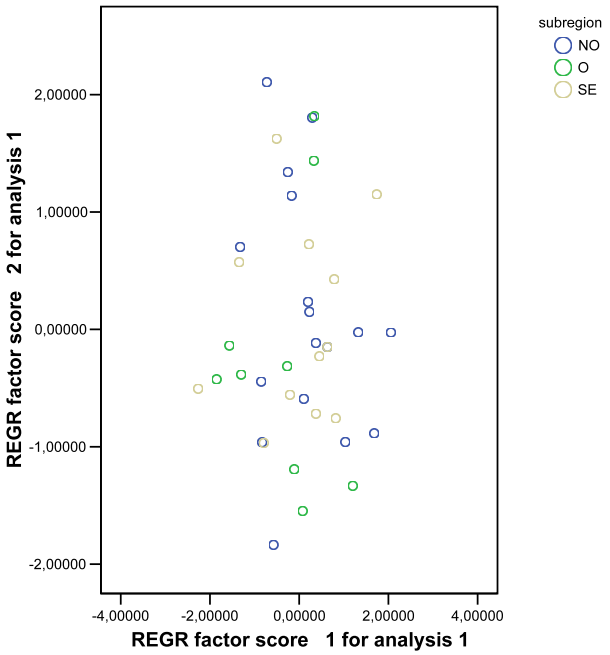


Figura 2. Efectos de la subregión sobre el CP1 y el CP2 de todos los parámetros seleccionados. Los símbolos individuales representan los valores de cada sitio muestreado en el noroeste (NO), oeste (O) y sudeste (SE).

LA ICNOFACIES DE GLOSSIFUNGITES SOBRE NIVELES SEDIMENTARIOS DE LA FORMACIÓN YACORAITE (MAASTRICHTIANO-DANIANO) EN EL ÁREA DE TILCARA – JUJUY, ARGENTINA

Cónsole Gonella, C.A[1].
Horta L.R. [2]
Aceñolaza F.G[1]

(1) Instituto Superior de Correlación Geológica (INSUGEO –CONICET), Miguel Lillo 205, 4000 ,San Miguel de Tucumán-Argentina. carlos_console@yahoo.com.ar
(2) Instituto Superior de Estudios Sociales (ISES-CONICET), San Lorenzo 429,4000,Tucumán-Argentina. hluisth@hotmail.com

Palabras Clave

- Formación Yacoraite (Maastrichtiano-Daniano)
- Glossifungites
- ambiente marino

La presencia de los icnogéneros Skolithos y Gastrochaenolites ha permitido identificar a la la icnofacies arquetípica de Glossifungites sobre niveles sedimentarios aflorantes en Maimará y Jueya pertenecientes a la Formación Yacoraite (Maastrichtiano-Daniano), en las cercanías de la localidad de Tilcara, Jujuy-Argentina. Si bien esta icnofacies no se encuentra restringida a ambientes marinos en su caracterización original posteriores investigaciones establecieron la necesidad de diferenciarla de aquellas icnofaunas formadas en sustratos similares continentales, ya que estas exhiben estructuras distintas. En los niveles superiores de la sección de Jueya se han reconocido a los icnogéneros Planolites, e indeterminados, acompañados por restos de peces, gasterópodos y pelecípodos. Por esta razón, y en relación al conocimiento paleoambiental existente de la unidad consideramos a esta icnoasociación como generada en un ámbito marino, de baja profundidad y alta energía, lo que sería coincidente con la caracterización geoquímica y sedimentológica del depósito.

Introducción

La Formación Yacoraite (Turner, 1959), se caracteriza por constituir un depósito calcáreo tabular, en parte dolomítico, con pelitas y areniscas, además de tobas y vulcanitas (Marquillas y Salfity, 1994). Se acepta para la unidad una edad que corresponde al lapso Maastrichtiano-Daniano, por lo que su acumulación incluiría la transición Cretácico/Terciaria. Esta determinación se basa en la presencia de huellas de dinosaurios del Senoniano (Alonso y Marquillas, 1986) y palinomorfos Maastrichtianos y Danianos (Marquillas et al, 2007; Moroni, 1982). La paleontología de la formación ha sido analizada y discutida en diversos trabajos. Se han reconocido restos fósiles de peces (Arratia y Cione, 1996; Cione, 1977; Cione et al, 1985; Cione y Pereira, 1985) y reptiles (Gasparini y Buffetaut, 1980), gasterópodos, ostrácodos, pelecípodos, escasos miliólidos, carófitas y otras algas, restos vegetales y palinomorfos, además de huellas de dinosaurios y de aves (Alonso, 1980; Alonso y Maraquillas ,1986; Marquillas et al, 2007; Marquillas et al, 2005; Marquillas y Salfity, 1994).

Marco geológico

La Formación Yacoraite es una de las unidades que integran el Grupo Salta (Turner, 1959). Este grupo ha sido definido como una cuenca de tipo rift, cuyos depósitos de 5000 m de espesor, se acumularon entre el Neocomiano y el Eoceno, por lo que la sedimentación abarca la transición cretácico-terciaria (Marquillas et al, 2003). Su cuenca se desarrolló totalmente sobre basamento precámbrico y paleozoico, notándose que las distintas formaciones del Grupo Salta se apoyan ya sea sobre rocas pampeanas, especialmente las del Cratógeno Central, o bien sobre la mayoría de las formaciones del Paleozoico del norte argentino (Aceñolaza y Toselli, 1981). La unidad más característica del Subgrupo Balbuena (Moreno, 1970) es la Formación Yacoraite, Se ha definido a la "Cuenca Yacoraite" como una cuenca carbonática restringida, somera y extensa, de posición intracontinental, alejada de las influencias directas y permanentes del mar abierto y por lo tanto con caracteres que le son propios (Marquillas, 1985). Está ampliamente distribuida en el noroeste argentino en una serie de fosas o subcuencas :Tres Cruces, Lomas de Olmedo, Metán, Alemanía, Cerro Hermoso, El Rey y El Charco o Sey. Se considera que la unidad se acumuló durante el estadio inicial de subsidencia termal del rift del Grupo Salta. El estudio isotópico realizado sobre sus calizas (Marquillas et al, 2007) confirmó el carácter marino del depósito, en contraste a otras hipótesis que sugirieron un origen continental (Palma, 2000).

Para la realización de este estudio se levantaron dos perfiles estratigráficos en las localidades de Maimará y Juella, Departamento Tilcara (Jujuy), sobre niveles aflorantes en la Cordillera Oriental (Figura 1). La elección de estas localidades se realizó en función de la buena preservación de las trazas, además del material paleontológico relacionado (restos de peces, restos de reptiles y moluscos). El perfil Maimará se ubica 5 Km al sur de la ciudad de Maimará, y el perfil Juella 12 Km al noroeste de la ciudad de Tilcara.

Icnología sistemática

Icnogénero Skolithos Haldeman, 1840
Icnoespecie tipo: Fucoides? linearis Haldeman, 1840.
Skolithos linearis Haldeman, 1840
Lámina 1 . 1.1, 1.2 y 1.3

Material: Forma frecuente, presente en varios niveles en los afloramientos de la Formación Yacoraite, al sur de la localidad de Maimará, Cordillera Oriental de Jujuy. Muestras YAC 1 y YAC 2, además de análisis in locus. Descripción: Galerías de desarrollo vertical respecto a los estratos, rectas, no dicotomizadas. El diámetro es variable de 10 mm a 35 mm, y longitud de hasta 90 mm en los casos de mayor desarrollo. Presentan relleno, y en planta la mayoría de sus terminaciones son netas y las secciones circulares.

Observaciones: La roca se encuentra bioturbada con un índice de 3 para el tipo B de Bottjer y Droser (1991), icnofábrica tipo "pipe rock".

Icnogénero Planolites Nicholson, 1873
Icnoespecie tipo: Planolites vulgaris Nicholson y Hinde, 1875; por designación subsecuente (Miller, 1889).
Planolites isp.
Lamina 1 1.4 y 1.5

Material: Forma frecuente presente en varios niveles en los afloramientos de la Formación Yacoraite, en la localidad de Juella, Cordillera Oriental de Jujuy. Muestra de mano analizada YAC 3.

Descripción: Pistas tubiformes relativamente cortas, de trayectoria curva, levemente sigmoideas . Los ejemplares estudiados tienen un diámetro variable de 0,3 mm a 10 mm, mientras que el rango longitudinal va desde 0,6 mm hasta 20 mm. Si bien en varios ejemplares el diámetro se mantiene constante longitudinalmente, en otros dismínuye paulatinamente hacia un extremo o ambos. No se observan ramificaciones ni revestimientos en la pared. La mayoría de los especímenes se encuentran superpuestos a otros. Las icnitas están rellenas con material de textura más gruesa y un color más claro que la matriz.

Observaciones: Desde su establecimiento original han sido utilizados diferentes criterios diagnósticos para caracterizar la génesis este icnogénero, lo que ha sido un asunto de discusión (Aceñolaza y Tortello, 2003; Aceñolaza et al, 1998; Alpert, 1975; Benton y Trewin, 1978; Fillion, 1989 y Pemberton y Frey, 1982, entre otros). Planolites se distingue de Paleophycus por poseer un relleno distinto al de la roca hospedante, además de carecer de una pared revestida (Pemberton y Frey, 1982).

Gastrochaenolites Leymerie, 1842.
Icnoespecie tipo: Gastrochaenolites lapidicus Kelly y Bromley, 1984
Gastrochaenolites isp.
Lamina 1 1.6 y 1.7

Material: Forma frecuente presente en varios niveles en los afloramientos de la Formación Yacoraite, en la localidad de Juella, Cordillera Oriental de Jujuy. Muestra YAC 4, además de análisis in locus.

Descripción: Perforaciones en forma de clava ("clavate borings" o "flask shaped borings") sobre paquetes estromatolíticos. La región apertural de la perforación es más estrecha que la cámara principal, y puede ser circular, oval o halteriforme ("dumb-bell shaped"), se observan superpuestos dos tamaños de orificios aperturales superpuestos, orificios de pequeño diámetro (0,3 mm) y de mayor tamaño (20 a 30 mm) La cámara principal varía en forma desde sub-esférica a alongada.

Observaciones: La constricción el el área apertural del cuello lo distingue inmediatamente de Trypanites, y el rango típico de tamaño varía entre 2 y 45 mm de diámetro y una longitud de entre 3 y 100 mm (Kelly and Bromley, 1984). El orígen de este icnotaxón es típico como resultado de la acción de bivalvos perforantes. Por otra parte Kelly and

Bromley (1984) han indicado que G. torpedo puede ser producido además por poliquetos y sipuncúlidos, sin embargo, de acuerdo a nuestro análisis, este no es el caso.

Discusión

Los icnofósiles son herramientas muy efectivas par alas interpretaciones geológicas y paleoambientales, ya que son menos suceptibles de ser transportados, y pueden ser comparados con análogos modernos (Seilacher, 1967), y si bien las icnofacies no funcionan como paleobatimetros (Buatois et al, 2002; Frey et al, 1990), creemos que su aplicacion puede aportar interesantes elementos para la discusión paleoambiental. Cónsole Gonella et al. (2009); analizaron la posibilidad de que para la Formación Yacoraite en el área estudiada, haya un dominio de la icnofacies de

Glossifungites, explicándose la presencia de dos icnogéneros dominates (Skolithos y Gastrochaenolites) probablemente a una icnofacies empobrecida por el ingreso de agua dulce. El icnogenero Skolithos es definido principalmente en una variedad de ambientes marinos de baja profundidad, cercanos a la costa (Droser, 1991), aunque otros aportes indiquen la posibilidad de encontrarlo en ambientes continentales (Gregory et al, 2006; Krapovickas et al, 2008). La icnofabrica tipo "pipe rock", es propia de zonas litorales arenosas de gran energia dominadas por Skolithos (Bottjer y Droser, 1991). Planolites es considerado una traza del tipo "facies-crossing trace", es decir una traza que aparece en las facies mas diversas (Buatois y Lopez Angriman, 1991) Por su parte Gastrochaenolites isp. ha sido interpretado como propio de aguas superficiales, por lo cual ante su presencia, solo debe inferirse unos pocos metros de columna de agua. (Kleemann, 1973; Bromley, 1992, 1994), indicando tambien alta energia, una tasa de sedimentacion muy disminuida o nula, y una buena disponibilidad de nutrientes en suspension (Verde, 2002).

Conclusiones

En funcion de lo expuesto y en consideracion de la continuidad lateral observada en los icnotaxones analizados proponemos su asignacion a la icnofacies arquetipica de Glossifungites. Por esta razon, y en relacion al conocimiento paleoambiental existente de la unidad consideramos esta icnoasociacion como generada en un ambito marino, de baja profundidad y alta energia, lo que seria coincidente con la caracterización sedimentologica del deposito.

Referencias

- Aceñolaza, F.G, Sánchez Bettucci,and L, Fernicola, J.C. (1998): Icnofósiles del Grupo Lavalleja, Neoproterozoico de Uruguay. Coloquios de Paleontología. 49, 9-21.
- Aceñolaza, F.G., and Toselli, A.J. (1981): Geología del Noroeste Argentino. Facultad de Ciencias Naturales e Instituto Miguel Lillo, Universidad Nacional de Tucumán, Publicación Especial 1287: 1-212.
- Aceñolaza, G. F., and Tortello, M. F., (2003): El Alisal: A new locality with trace fossils of the Puncoviscana Formation (Late Precambrian-Early Cambrian) in Salta Province, Argentina Geologica Acta. 1, 95-102.
- Alonso, R. N., (1980): Icnitas de dinosaurios (Ornithopoda, Hadrosauridae) en el Cretácico superior del Norte de Argentina. Acta Geológica Lilloana, 15, 55-63.
- Alpert, S.P., (1975): Planolites and Skolithos from the Upper Precambrian – Lower Cambrian White-Inyo Mountains, California.Journal of Paleontology. 49, 508-521.
- Arratia, G., and A.L., Cione., (1996): The fish fossil record of Southern South America. Münchener Geowissenschaft Abhanlungen. 30, 9-72.
- Benton, M.J., and Trewin, N.H., (1978): Discussion and comments on Nicholson´s 1872 manuscript "Contributions to the study of errant annelides of the older Paleozoic rocks" .University ofAberdeen, Department of Geology and Mineralogy. Publication. 1, 1-16.Bottjer, D. J., and M. L. Droser, (1991): Ichnofabric and basin análisis. Palaios. 6, 199-205.
- Buatois, L. A., and Lopez Angriman, A. O. (1991): Icnología de la Formación Whisky Bay, Cretácico de la Isla James Ross, Antártida. Implicancias paleoambientales y paleoecológicas. Ameghiniana. 28:75-88.
- Buatois, L.A., Mángano, M.G. and Aceñolaza, F.G., (2002): Trazas fósiles: Señales de comportamiento en el registro estratigráfico. Museo Paleontológico Egidio Feruglio, Publicación 2, 382.
- Bromley, R.G., (1992): Bioerosion: eating rocks for fun and profit. In: Maples, C. and West, R. (eds), Trace Fossils. Short Courses in Paleontology, 5, 121-129.
- Bromley, R.G. (1994): The Palaeoecology of bioerosión. In: Donovan, S. K. (ed), The Palaeobiology of trace fossils. John Wiley y Sons, Chichester, 134-154.
- Cione, A.L., (1977): Algunas consideraciones sobre Pycnodontiformes (Pisces, Holostei) procedentes de la Formación Yacoraite, Cretácico tardío de la provincia de Salta, Argentina. Ameghiniana, 14, 315-316.
- Cione, A.L., S.M., Pereira, R., Alonso and J., Arias, (1985): Los bagres (Osteichthyes, Siluriformes) de la Formación Yacoraite (Cretácico tardío). Consideraciones biogeográficas y bioestratigráficas. Ameghiniana, 21, 294-304.
- Cione, A.L., and S.M., Pereira., (1985): Los peces de la Formación Yacoraite (Cretácico tardío-Terciario?, Noroeste argentino) como indicadores de Salinidad. Revista de la Asociación Geológica Argentina, 40, 83-88.
- Cónsole Gonella, C.A.; Griffin, M.; y Aceñolaza F.G. 2009. Gastropods associated with Fossil Traces from Yacoraite Formation (Maastrichtian-Danian), and its Paleoenvironmental Significance, Jujuy,Northwestern Argentina. Acta Geológica Sinica. 83: 5, 801–840
- Droser, M., L., (1991): Ichnofabric of the Paleozoic Skolithos ichnofacies and the natureand distribution of Skolithos piperock. Palaios, 6,316-325.
- Fillion, D., (1989): Les critères discriminants à l`intérieur du triptyque Palaeophycus-Planolites-Macaronichnus. Essai de synthèse d`un usage critique. C.R. Academie Sciences du Paris, 309: 2, 169-172.
- Gasparini, Z., and Buffetaut, E., (1980): Dolichochampsa minima, n.g.n.sp., a representative of a new family of eusuchian crocodiles from the Late Cretaceous of northern Argentina. Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie Monatshefte, 8, 257–271.
- Gregory, M. G., Campbell, K. A., Zuraida, R., and Martin, A. J., (2006): Plant traces resembling Skolithos. Ichnos, 13, 205-216.

- Haldeman, S.S., (1840): Supplement to Lumber one of "A monograph of the Limniades, andother freshwater univalve shells of North America", containing descriptions of apparently new animals in different classes, and the names and characters of the subgenera in Paludina and Anculosa. 3pp.
- Krapovickas V., Mángano M.G., Mancuso A., Marsicano C. A., and Volkheimer W., (2008): Icnofaunas triásicas en abanicos aluviales distales: evidencias de la Formación Cerro Puntudo, Cuenca Cuyana, Argentina. Ameghiniana, 45: 2,463-472
- Kelly, S.R.A., and Bromley, R.G., (1984): Ichnological nomenclature of clavate borings. Palaeontology, 4, 793-807.
- Kleemann, K. H., (1973): Der Gesteinsabbau durch Ätzmuscheln an Kalkküsten. Oecologia, 13, 377-395.
- Leymerie, M.A., (1842): Suite de mémoire sur le terrain Crétacé du départment de l'Aube. Mem. Soc. Géol. Fr., 5, 1-34.
- Logan, B. W., R., Rezak and Ginsburg, R. N., (1964): Classification and environmentalsignificance of algal stromatolites. Journal of Geology 72, 68-83.
- Marquillas, R.A., (1985): Estratigrafía, sedimentología y paleoambientes de la Formación Yacoraite (Cretácico superior) en el tramo austral de la cuenca, Norte Argentino: Tesis doctoral, Universidad Nacional de Salta, 139pp.
- Marquillas R., Sabino I., Nóbrega Sial A., Del Papa C., Ferreira V., and Matthews S., (2007): Carbon and oxygen isotopes of Maastrichtian-Danian shallow marine carbonates: Yacoraite Formation, northwestern Argentina. Journal of South American Earth Sciences. Elsevier, 23, 304-320
- Frey, R.W., Pemberton, S.G., and Saunders, T.D., (1990): Ichnofacies and bathymetry: a passive relationship. Journal of Paleontology 64, 155-158.
- Haldeman, S.S., (1840): Supplement to Lumber one of "A monograph of the Limniades, and other freshwater univalve shells of North America", containing descriptions of apparently new animals in different classes, and the names and characters of the subgenera in Paludina and Anculosa. 3pp.
- Marquillas, R Del Papa C., and Sabino I.F., (2005): Sedimentary aspects and paleoenvironmental evolution of a rift basin: Salta Group (Cretaceous-Paleogene), northwestern Argentina. International Journal of Earth Sciences (Geol Rundsch), 94, 94-113.
- Marquillas, R. A., Del Papa C., Sabino, I., and Heredia J., (2003): Prospección del límite K/T en la cuenca del Noroeste, Argentina. Revista de la Asociación Geológica Argentina, 2, 271-274.
- Marquillas, R.A., and Salfity, J.A., (1994): Las relaciones estratigráficas regionales de la Formación Yacoraite (Cretácico Superior), Norte de la Argentina. 7º Congreso Geológico Chileno. Actas 1: 479-483.
- Miller, S.A., (1889): North American geology and palaeontology for the use of amateurs, students and scientists. Western Methodist Book Concern. 664 pp.
- Moreno, J.A. (1970): Estratigrafía y paleogeografía del Cretácico Superior en la cuenca del noroeste argentino, con especial mención de los Subgrupos Balbuena y Santa Bárbara. Revista de la Asociación Geológica Argentina, 24, 9-44.
- Moroni, A. M., (1982): Correlación palinológica en las Formaciones Olmedo y Yacoraite. Cuenca del Noroeste Argentino. Actas 3° Congreso Geológico Chileno: 340-349.
- Nicholson, H.A., (1873): Contributions to the study of the errante annelides of the older Paleozoic Rocks. Royal Society of London. Proceedings, 21, 288-310.
- Nicholson, H.A., and Hinde, G.J., (1871): Notes on the fossils of the Clinton, Niagara and Guelph formations of Ontario, with descriptions of new species. Canadian Journal Sci. Lit. History, 14, 137-160.
- Palma, R. M., (2000): Lacustrine facies in the Upper Cretaceous Balbuena subgroup (Salta Group):Andina Basin, Argentina. In: E. H., Gierlowski Kordesch and Kelts, K. R., (eds), Lake basins through space and time: AAPG Studies in Geology, 323-328
- Pemberton S.G., and Frey, R.W., (1982): Trace fossil nomenclature and the Planolites-Palaeophycus dilemma. Journal of Paleontology, 4, 843-881.
- Seilacher, A., 1967. Bathymetry of trace fossils. Marine Geology, 5: 413–428.
- Turner, J.C.M., (1959): Estratigrafía del cordón de Escaya y de la sierra de Rinconada (Jujuy).Revista de la Asociación Geológica Argentina, 13, 15-39.
- Verde, M., (2002): Icnología de la Formación Camacho (Mioceno Tardío) de Uruguay. Tesis de Maestría PEDECIBA, 124 pp.

GRÁFICOS

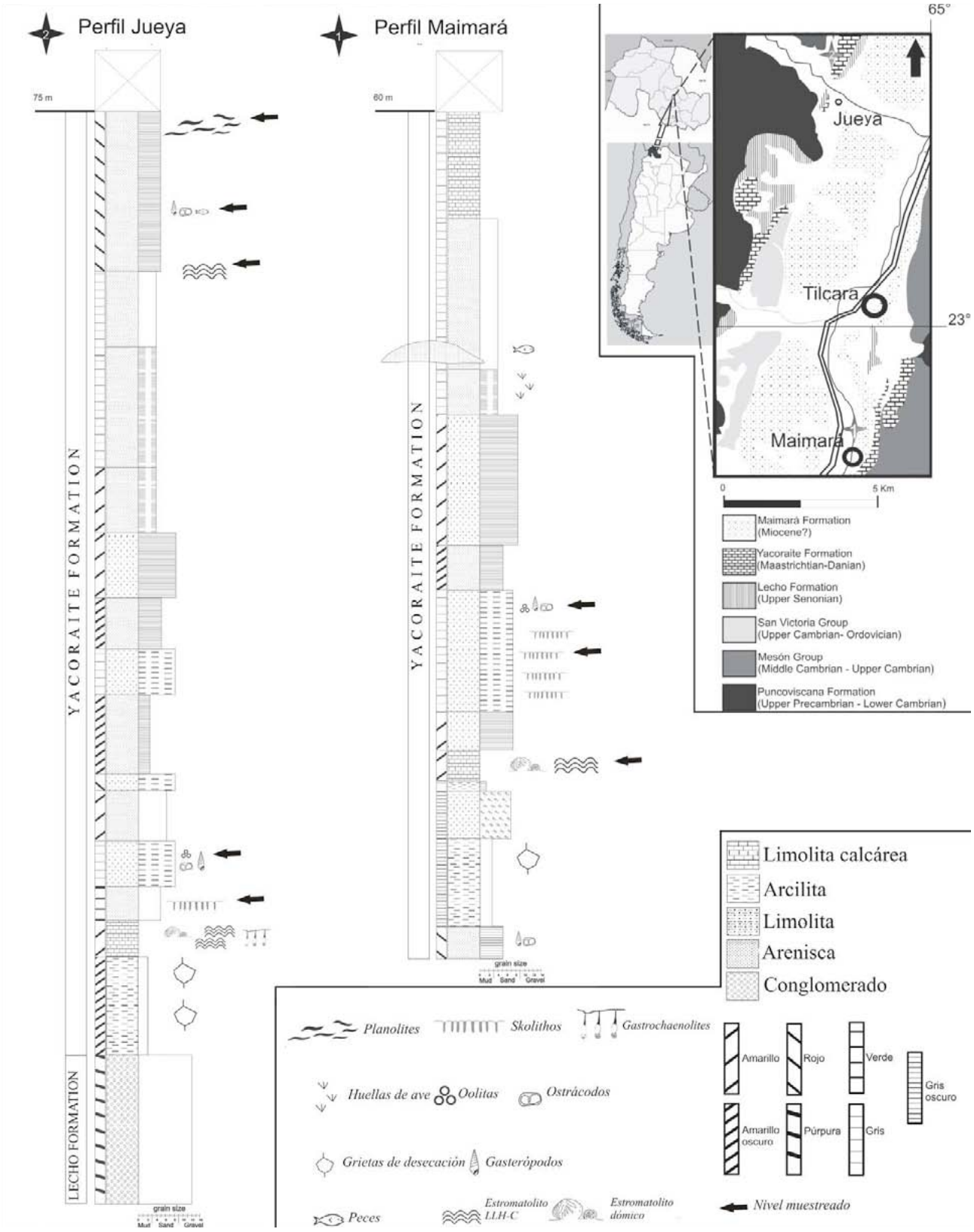
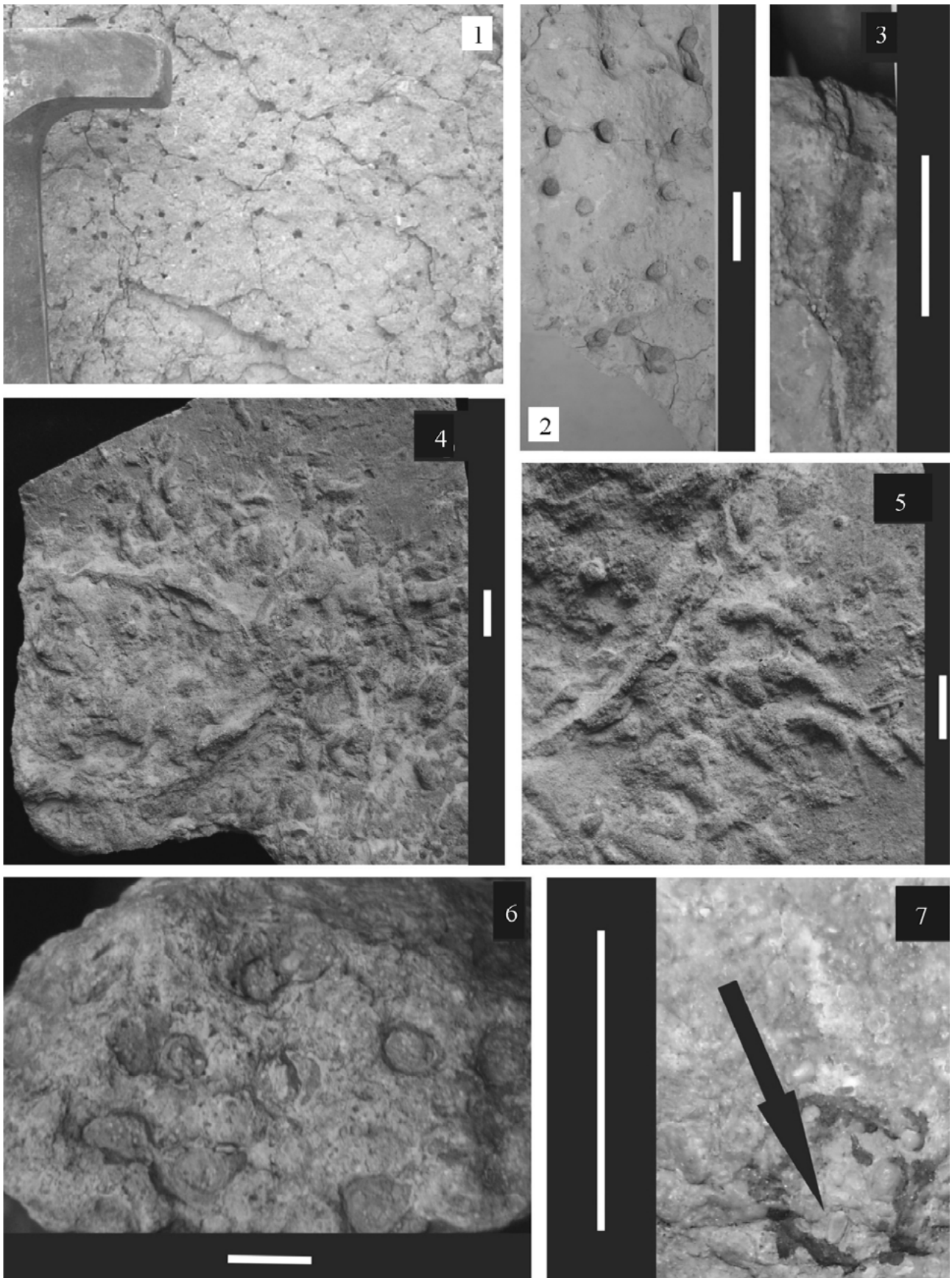


Figura 1. Mapa de ubicación y secciones estratigráficas



Lamina 1

1, Skolithos isp. Haldeman, 1840.

Horizonte con bioturbación icnofábrica piperock

2, Skolithos linearis Haldeman, 1840, YAC 1.

3, Skolithos linearis Haldeman, 1840, YAC 2.

4, 5, Planolites isp, Nicholson, 1873, YAC 3.

6, Gastrochaenolites isp. Leymerie, 1842, YAC 4.

7, Gastrochaenolites isp. Leymerie, 1842, YAC 4 con pequeño bivalve preservado in situ

LA CONTAMINACIÓN POR OZONO SUPERFICIAL Y MATERIAL PARTICULADO EN EL SUDOESTE DE EUROPA

De la Morena, B.A.(1),
Adame, J.A.(1)
Sorribas, M.(1)
Mosert, M.(2)

(1) Estación de Sondeos Atmosféricos – El Arenosillo. Área de Investigación e Instrumentación Atmosférica. Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial (INTA). Crta. Huelva – Matalascañas, km 34, 21130. Mazagón. Huelva. España.
(2) Instituto de Ciencias Astronómicas, de la Tierra y del Espacio (ICATE)-CONICET. Avda España 1512 (Sur), 5400 San Juan, Argentina.

Introducción

Los elevados índices tanto de gases como de partículas, que se tienen en numerosas zonas urbanas e industriales generan en la actualidad uno de los mayores problemas ambientales. La preocupación generada, ha llevado a la Unión Europea a definir como contaminante atmosférico a 'cualquier sustancia introducida indirecta o directamente por el hombre en el aire ambiente, que pueda tener efectos nocivos sobre la salud humana o el medio ambiente en su conjunto' (1999/30/CE). Este es un problema generalizado en numerosos lugares planeta, encontrándose problemas de contaminación atmosférica mayoritariamente en Norte America, Europa, así como en grandes ciudades de Asia y de Sur América (Kleinman et al., 2004; Lin et al., 2007), sin olvidar los problemas que se están conociendo debido al transporte intercontinental.

El problema de la contaminación atmosférica tiene en la actualidad su mayor exponente en el ozono superficial y las partículas, siendo estos dos elementos a los que mayor esfuerzo se está dedicando en parcelas como la investigación, técnicas de control y legislación.

En el caso de la contaminación por ozono superficial y por partículas ultrafinas, ambas son sustancias que presentan unas características que las hacen muy peculiares respecto a otros contaminantes "clásicos". Mientras que, otras sustancias son emitidas directamente a la atmosfera, el ozono y las partículas ultrafinas se forman en el propio medio atmosférico siendo por tanto más difícil su control. Sus niveles y sus comportamientos están influenciados por las emisiones de sus precursores y por la orografía, y fundamentalmente por las condiciones meteorológicas.

La región sudoeste de Europa se caracteriza por presentar unas condiciones meteorológicas con unos elevados índices de radiación solar, elevadas temperaturas y procesos recirculatorios de mesoescala. A estos aspectos atmosféricos hay que unir una serie de factores no atmosféricos, como las elevadas emisiones que se producen en grandes zonas urbanas e industriales que se encuentran en la región e estudio. El conjunto de todas estas condiciones favorece la ocurrencia de procesos fotoquímicos que tienen como consecuencia la formación de sustancias secundarias como el ozono y las partículas ultrafinas.

El material particulado atmosférico, también llamado aerosol atmosférico, presenta también un origen primario, es decir, es inyectado directamente a la atmósfera desde sus fuentes. Su origen puede ser bien natural, como por ejemplo el polvo mineral del desierto, las partículas de sal marino y el polen o de origen antropogénico como las emisiones industriales, de vehículos o las actividades de la construcción.

Tanto los aerosoles secundarios (o partículas ultrafinas) como los de origen primario, no sólo influyen sobre la calidad del aire, sino que también juegan un importante papel en la compresión de los efectos climáticos globales y regionales, por medio de los denominados efectos directos e indirectos. Los mecanismos directos están relacionados con la absorción y la dispersión de la radiación solar y terrestre por el aerosol con un diámetro superior a 0.1 um (Takemura et al., 2002). Y los mecanismos indirectos muestran la importancia de la partículas sub-micrométrica en la activación de los núcleos de condensación nubosa (cloud condensation nuclei, CCN), los cuales incrementan el llamado forzamiento indirecto de los aerosoles (indirect aerosol forcing, Charlson et al., 1987).

A lo largo de las dos últimas decadas ambos componentes, ozono superficial y partículas, son medidos en numerosos emplazamientos en Europa y sobre diversas plataformas (en tierra, barcos o aviones), siendo obviamente las estaciones en tierra las que forman fundamentalmente la base de análisis sobre periodos de tiempo más o menos largos, desde campañas, a series de medidas continuas.

Enmarcada dentro de la monitorización continua se encuentra la Red de Vigilancia y Control de la Contaminación Atmosférica, para la vigilancia y control de la contaminación atmosférica en Andalucía, sur de España, la cual es gestionada y mantenida por el departamento de medio ambiente del gobierno andaluz (Consejería de Medio Ambiente de la Junta de Andalucía). Además existe una plataforma multi-instrumentada, como centro de monitorización e investigación de la atmósfera, llamada Estación de Sondeos Atmosféricos de El Arenosillo, perteneciente al Área de Investigación e Instrumentación Atmosférica del Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial. Se encuentra ubicada en una zona costera y rural de la provincia de Huelva y en ella se miden una serie de parámetros atmosféricos que ayudan al conocimiento de los procesos contaminantes que se producen en la región y de su influencia sobre el clima y la calidad del aire.

El objetivo de este trabajo es mostrar, de una forma general, los aspectos más relevantes que se producen en relación a la contaminación atmosférica por material particulado y ozono superficial al sur del continente europeo. Para ello se han utilizado las observaciones realizadas tanto de la Estación de Sondeos Atmosféricas de El Arenosillo como las registradas en la red de calidad del aire de Andalucía.

Descripción del área de estudio

Comunidad Andaluza

En el sudoeste de Europa se encuentra la Comunidad Autónoma de Andalucía, la cual engloba a su vez todo el sur de España. Andalucía se sitúa a una latitud comprendida entre 36º N en su punto más meridional y 38º44' N en el más septentrional. Presenta una orografía compleja con zonas de sierra al norte de la región, un importante valle que la atraviesa desde el SW al NE (valle del Guadalquivir) y lugares montañosos y costeros en la parte más oriental (Figura 1).

La intervención de factores del clima como la latitud subtropical en la que se encuentra y la abundancia de situaciones anticiclónicas sobre la región, determina la existencia en Andalucía de una insolación muy elevada. Así, todo el valle del Guadalquivir y los espacios costeros, con la excepción del área del estrecho de Gibraltar, supera las 2800 horas de sol al año.

La temperatura media anual adopta valores muy diversos, que reflejan un gradiente costa-interior y, sobre todo, un fuerte gradiente altitudinal, de forma tal que los valores más bajos (inferiores a 9-10º) se encuentran en los enclaves montañosos del interior de las cadenas Béticas. El flanco occidental de estas cadenas, más abierto a la influencia atemperante del Atlántico, y el conjunto de Sierra Morena, presentan valores más elevados, que oscilan entre 12º y 15º. En la costa atlántica se superan ya los 15º, y en el valle del Guadalquivir y algunos puntos de la costa mediterránea se pueden rebasar los 18º, alcanzándose incluso 20º en algunos enclaves del litoral almeriense, que se constituye en uno de los puntos más cálidos de España.

Debido a la cercanía de Andalucía al continente africano, es un área que se encuentra frecuentemente influenciada por masas de aire con influencia desértica, con el consecuente incremento del número de partículas de la fracción gruesa y sus afecciones sobre la salud y el clima.

Dentro de esta región el trabajo que se presenta se focaliza en la región más occidental, en el medio y bajo valle del Guadalquivir (Figura 1).

Estación de Sondeos Atmosféricos El Arenosillo

La estación de Sondeos Atmosféricos (ESAt) "El Arenosillo" (37.1 N, 6.7 W, 40 m snm), pertenece al Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial (INTA) y se encuentra ubicada dentro del Centro de Experimentación de El Arenosillo (CEDEA). Situada al sudoeste de la Península Ibérica en una zona costera conocida con el nombre de Golfo de Cádiz, que corresponde al inicio del valle del Guadalquivir (Figura 1).

Figura 1. Localización de la Estación de Sondeos Atmosféricos de El Arenosillo en el sudoeste de Europa.

La ESAt está ubicada en el Parque Nacional de Doñana, en una área forestal caracteriza por una vegetación fundamentalmente formada por pinos (Figura 2). Dicho pinar, formado por Pinus pinea de cincuenta años de edad, confiere al lugar unas características de albedo muy especiales, ya que las copas de los pinos tienen muy poca separación, y su hoja es perenne, con lo que el albedo no presenta una evolución anual. A unos 8 km de la ESAt se sitúa la localidad de Mazagón, a 28 km la ciudad de Huelva en dirección noroeste y a menos de 1 km la línea de costa del Océano Atlántico.

La ESAt El Arenosillo es considerada como una versátil y automática plataforma, cuyo propósito es la investigación en diferentes disciplinas como la física, la química y la biología, a partir de la monitorización de forma continua o temporal de diversos parámetros ambientales. En el caso de las ciencias atmosféricas, son estudiadas diversas propiedades de los aerosoles, gases contaminantes, radiación ultravioleta, ozono estratosférico, etc, a partir de técnicas in situ y de remote sensing. Es de resaltar que todo ello se desarrolla dentro de colaboraciones con Institutos y Universidades, tanto nacionales como internacionales, que potencian enormemente el desarrollo científico de la ESAt.

En cuanto a la investigación de la alta atmósfera, la ESAt se encuentra desde 1975 integrada en la Ionosphere Internacional Network con el código ES-036, a través de la monitorización realizada con dos diferentes sondeadores ionosféricos, para medir la absorción de la baja (A3) y alta ionosfera. Además es el número #213 del Sistema de Observación Global de Ozono (Global Ozone Observing System), de la Organización Meteorológica Mundial y cuenta con treinta años de observaciones continuadas de ozono con el fotómetro Dobson#120 y de diez años con el espectrofotómetro Brewer #150. También se encuentra operando en dichas instalaciones y desde el año 2000, un fotómetro Cimel #318 de la Red AERONET (AErosol RObotik NETwork) gestionada por la NASA.

A nivel superficial y desde el año 2008, pertenece a la red NOAA-ESRL para la evaluación del forzamiento radiativo del aerosol antropogénico a través del nefelómetro integrado que encuentra operativo en sus instalaciones, y a la red EUSAAR (European Supersite for Atmospheric Aerosol Research). El ozono y una de sus familias de precursores, los NOx (NO y NO2), son monitorizados en El Arenosillo desde el año 2000. La estación de monitorización pertenece a la Red de Vigilancia y Control de la Calidad del Aire de la Consejería de Medio Ambiente de la Junta de Andalucía (CMAJA) y desde el año 2002, es el centro oficial desde el cual se analizan e interpretan los datos de ozono y precursores obtenidos en la mencionada red.

Figura 2. Imágenes de la Estación de Sondeos Atmosférico de El Arenosillo y del laboratorio para la caracterización de la atmósfera superficial que se encuentra a 120 m del edificio principal.

Otras características de la zona de estudio han quedado recogidas de forma extensa en las siguientes Tesis Doctorales: los aerosoles en columna y las masas de aire (Vergaz, 2001; Toledano, 2005), el ozono estratosférico y el UV (Vilaplana, 2004), el ozono troposférico y las variables meteorológicas, (Adame, 2005) y la concentración de partículas ultrafinas (Sorribas, 2007).

Metodología

Instrumentación

Para la medida de gases y partículas en superficie, se dispone de un laboratorio situado a 125 m del edificio principal de la ESAt, el cual consta de tres alturas diferentes (Figura 2). En el primer piso está divido en dos partes, en una de ellas se alojan las bombas de succión tanto de aerosoles como de gases y el SAI (Sistema de Alimentación Ininterrumpida) de 10000W. En la otra sala se alojan las botellas con los gases patrones para la calibración del equipamiento. La instrumentación está localizada en el segundo y tercer piso. El segundo piso tiene monitorizadas y controladas la temperatura T y la humedad relativa RH con objeto de garantizar las condiciones de secado del aerosol caracterizado.

En ellos se encuentran operando dos espectrómetros de partículas, un SMPS y un APS, en el rango sub y micrométrico respectivamente. Los coeficientes de scattering, la fracción de back-scattering y el parámetro alpha en 450 nm, 550 nm y 700 nm, son monitorizados a partir de un nefelómetro integrado y los coeficientes de absorción a través de propiedades ópticas en el laboratorio. Tres impactores de alto caudal, (MCVs y Andersen) permiten la caracterización granulométrica y química del aerosol. La instrumentación para la medida de gases está formada por un analizador de ozono y un analizar de NOx, el cual permite la medida simultánea de NO y NO2. A esta instrumentación hay que añadir la que proporciona una torre meteorológica con sensores a una altura de 10 m, monitorizándose la T, RH, presión, precipitación y viento (velocidad y dirección). A este mismo laboratorio llega la información que suministra otra torre meteorológica de 100 m, y ubicada a unos 450 m del edificio principal de la ESAt. Dicha torre está implementada con sensores meteorológicos, que registran las mismas variables ya mencionadas, en los niveles de 25, 50 y 100 m.

En el edificio principal de la ESAt se encuentra operando el fotómetro Cimel, siendo algunos de sus productos el espesor óptico de aerosoles (AOD), el parámetro alpha, la distribución de tamaños efectiva, etc.

Toda la instrumentación es mantenida de forma continuada a través de un programa de chequeos y calibraciones periódicas. Algunos de los instrumentos, como ya se ha mencionado anteriormente, pertenecen a redes de monitorización nacionales e internacionales, cumpliendo los protocolos de medida y mantenimiento impuestas en cada una de las redes.

Tratamiento y base de datos

En la actualidad se dispone de datos de ozono superficial desde el año 2000, de registros de NO y NO2 desde el año 2005, parámetros meteorológicos a una altura de 10 m desde 1994 y medidas en la torre de 100 m desde diciembre de 2008. Las propiedades ópticas en columna son monitorizadas desde el año 2000 y las de superficie de dispersión desde enero de 2006. Se dispone de la distribución de tamaños sub- y micrométrica, y las propiedades másicas y granulométricas en superficie desde julio de 2004.

Las concentraciones de gases y partículas en superficie y las variables meteorológicas tanto a 10 m como los sensores de la torre de 100 m, monitorizan con una resolución de 10 minutos durante las 24h. En cuanto a los parámetros ópticos del aerosol en columna, la monitorización se realiza únicamente durante las horas con luz solar y sin nubes, ya que es la irradiancia solar el parámetro muestreado, siendo el resto un producto directo o indirecto de su medida. El programa de medidas consiste en observaciones cada 15 minutos para la irradiancia solar y una secuencia variable para la radiancia solar. Con estos registros se calculan las medias horarias, a partir de las cuales se obtienen los valores diarios, estadísticos, medias mensuales, etc. Tanto el cálculo de los valores horarios, como el resto de estadísticos cumplen una serie de criterios de calidad, siendo el menos restrictivo el del 75% y aplicándose en algunos casos el 90%.

Resultados

Material particulado superficial

Principales métricas. Precursores y procesos de formación de partículas ultrafinas

Debido a la enorme variabilidad en las propiedades físicas, químicas y radiativas del aerosol atmosférico, así como del gran número de factores ambientales que influyen en ellas, el material particulado atmosférico es difícil de estudiar. En este amplio contexto nuestro trabajo consiste en medir y caracterizar los aerosoles en la atmósfera mediante técnicas fotométricas e in situ, centrándonos en sus propiedades tanto físicas como ópticas relacionadas con el clima y la calidad del aire. En este trabajo se presentan los resultados más revelantes en cuanto a la concentración numérica de partículas con diámetro inferior a 1 um, partículas sub-micrométricas, y a la concentración másica de partículas con tamaño inferior a 10 um, valores de PM10.

Tal y como se ha mencionado con anterioridad, las partículas pueden tener un origen primario o secundario. El ratio de la concentración entre ambos orígenes tiene un valor de 20, con lo que se puede pensar que la importancia de las partículas secundarias en los efectos sobre el clima o la calidad del aire es pequeña. Sin embargo, hay varias razones por las que dicha afirmación es inadecuada.

La primera razón está relacionada con su tiempo de vida atmosférico. El polvo mineral y las partículas de sal marina, que forman parte del denominado aerosol primario, tienen un tamaño micrométrico y un tiempo de vida corto, limitado principalmente por el proceso de sedimentación gravitacional. En contraste, los aerosoles secundarios se encuentran dentro del rango sub-micrométrico, y poseen una velocidad de deposición inferior, con lo que su tiempo de vida es superior al de las partículas primarias.

Otro aspecto relevante es la relación observada entre los aerosoles con tamaño sub-micrométrico y los efectos adversos sobre la salud. Durante la última década se han realizado numerosos estudios toxicológicos sobre el potencial riesgo sobre la salud humana de las partículas ultrafinas, de tamaño inferior a 0.1 μm, en cuanto a su alta eficiencia de

deposición en los pulmones (Figura 3). La exposición a este material particulado inhalable, puede provocar aumento de la mortandad debido a problemas respiratorios y cardiacos, descenso de los niveles de la función pulmonar en niños y adultos, aumentos de síntomas respiratorios y aumento de las visitas a urgencias [Chalupa et al., 2004; Klot et al., 2006].

En este tipo de análisis las partículas son habitualmente medidas a partir de propiedades másicas como el PM10 y el PM2.5. Sin embargo el efecto de la concentración numérica, en concreto con D < 0.1 µm, puede ser más relevante que las concentraciones de masa. La Figura 3 izquierda muestra como la incidencia de la masa de las partículas sobre la salud humana ha de cuantificarse con métricas como el PM10, ya que la masa de las partículas ultrafinas es despreciable. Además, la Figura 3 derecha indica, que la influencia sobre la deposición en los pulmones viene determinada principalmente por el rango ultrafino de tamaños del aerosol, al ser despreciable la concentración numérica de partículas superiores a 1 um.

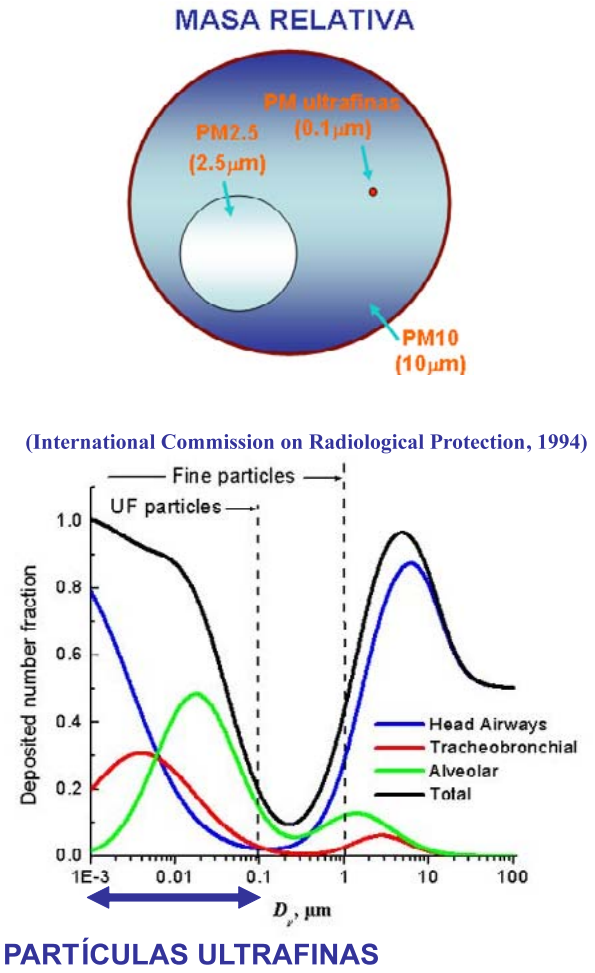


Figura 3. Relación másica entre las partículas con D<10um (PM10), D<2.5um (PM2.5) y D<0.1um (PM Ultrafinas), así como la fracción numérica de deposición de partículas en los pulmones.

Uno de los orígenes de las partículas ultrafinas es el secundario, a través de procesos de nucleación los cuales forman una partícula termodinámicamente estable desde el vapor. Esas nuevas partículas pertenecen al rango ultrafino de tamaños, es decir, por debajo de 0.1 um. Estos procesos de nucleación han sido observados principalmente cuando emisiones locales introducen en la atmósfera precursores gaseosos, pero son aun pocos los estudios realizados bajo condiciones de masas de aire limpio.

En este caso, las regiones consideradas como fuente para la formación de partículas son las zonas costeras donde la actividad biológica es fuerte, y las áreas forestales donde las emisiones de VOC son muy altas y pueden actuar como precursores. Pero también se han observados eventos de nucleación en zonas continentales. En todos ellos, ha de cumplirse que la superficie del aerosol sea pequeña y que no esté envejecido, de forma que los gases de la atmósfera se utilicen en los procesos de nucleación y no para condensar sobre los aerosoles pre-existentes.

La nucleación binaria H_2SO_4 (g) - H_2O es el mecanismo propuesto para la formación de nuevas partículas. En la atmósfera, las partículas de sulfato se producen desde precursores gaseosos como el dióxido de sulfuro, emitidos a la atmósfera principalmente por diferentes fuentes de contaminación (combustión de combustibles fósiles). La oxidación del SO_2 es debida a la presencia de radicales OH formados en los procesos fotoquímicos seguidos por reacciones químicas tales como las que se indican a continuación. La producción y pérdida del H_2SO_4 (g) es también mostrada a partir del esquema mostrado en la Figura 4.

OH + SO2 (+M) —> HSO3 (+M) **(1)**

HSO3 + O2 —> HO2 + SO3 **(2)**

SO3 + H2O —> H2SO4 (g) **(3)**

La pérdida del SO2 en la atmósfera se produce por dos caminos diferentes. Por una parte a través de los procesos de condensación sobre partículas pre-existentes, las cuales ven por tanto aumentado su tamaño pero no su concentración. Este tipo de procesos son también denominados nucleación heterogénea. El segundo camino se centra en la producción de nuevas partículas en el rango ultrafino a través de la denominada nucleación homogénea.

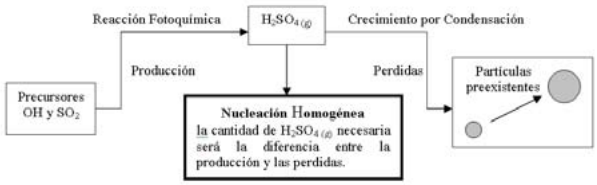


Figura 4. Producción y pérdida del $H_2SO_4(g)$ y formación de nuevas partículas por nucleación homogénea.

Cuando estas reacciones se producen bajo la presenta del NH3 (nucleación ternaria), se produce una disminución de la presión del vapor del H2SO4 (g), facilitándose la pérdida por el proceso binario y pudiéndose alcanzar mayores concentraciones de partículas ultrafinas bajo órdenes de magnitud inferiores de concentración de H2SO4 (g).

Caracterización del aerosol atmosférico en la ESAt

Son numerosos los parámetros para caracterizar el aerosol atmosférico que se monitorizan en la ESAt, mostrándose a continuación los resultados más relevantes y haciéndose más hincapié en las concentraciones de partículas ultrafinas analizadas.

Los coeficientes de absorción fueron monitorizados durante el verano de 2004 partir de filtros muestreados con un impactor de bajo caudal Dekati. La técnica se basó en recoger aerosoles sobre un filtro, determinándose los coeficientes de absorción a través de transmitancia de la luz del filtro. Dicho análisis permitió evaluar un coeficiente de absorción de 1.22 Mm-1 (320 nm), 0.93 Mm-1 (500 nm) y 0.78 Mm-1 (800 nm). Este valor es característico de zonas no urbanas en las que la entrada de masas de aire con origen desértico es relativamente frecuente (Mogo et al., 2005).

Desde julio de 2004, las propiedades químicas son también monitorizadas utilizando impactores de alto volumen de tipo MCV y Andersen. El análisis de principales componentes ha revelado tres principales fuentes de: crustal (43%, 11um/m3, marino (18%, 4.6um/m3) y fuentes antropogénicas (30%, 7.6 um/m3). Más información puede encontrarse en González et al., (2007).

En cuanto a los parámetros ópticos del aerosol en columna proporcionados por el fotómetro Cimel, encontramos un AOD y el exponente de Angstrom con valores promedios de 0.18 y 1.04 respectivamente, (Toledano et al., 2007). Habiéndose realizado también un inventario de eventos desérticos a partir de esta información, mostrar a modo de ejemplo los valores promedios alcanzados de AOD y parámetro alpha con 0.31 y 0.66 respectivamente, indicativo una alta turbidez y la predominancia del rango grueso en el tamaño del aerosol (Toledano et al., 2007a).

En cuanto a la caracterización del número de partículas en el rango sub-micrométrico, en la Figura 5 se pueden observar la evolución diaria del promedio mensual de la concentración total (y sus percentiles 10 y 90) y de la concentración numérica para los modos de nucleación (14-30)nm, Aitken (30-100)nm y acumulación (100-604)nm, desde julio de 2004 hasta julio de 2006.

El valor medio alcanzado de concentración numérica es de 8400 cm-3, encontrándose valores máximos durante los meses de primavera y verano, tal y como se observa en el mes de abril de 2005, donde al mediodía se alcanzaron valores de concentración en el modo de nucleación superiores a 10000 cm-3. Similar comportamiento, pero menos marcado, es encontrado para el modo Aitken mientras que el rango de acumulación no presenta una evolución de su concentración durante el día.

A partir de la revisión manual de las distribuciones medidas, se han detectado dos tipos de episodios que producen altas concentraciones al mediodía en la zona de El Arenosillo, los eventos de nucleación y de brisa, (Sorribas et al., 2007).

En los eventos de nucleación se producen nuevas partículas en el modo de nucleación. Su crecimiento a diámetros mayores provoca un aumento de la concentración en el modo Aitken, y posteriormente en el modo de acumulación, como muestran las evoluciones presentadas de parte superior de la Figura 6. Las características principales de este tipo de eventos son que se presentan con una ocurrencia anual del 8% de los días, iniciándose en promedio a las (10:44 ± 01:21)h y con una duración promedio de (04:41 ± 02:10)h. Presentan una máxima frecuencia de ocurrencia durante los meses de primavera y están relacionadas con las masas de aire de origen ártico y la dirección del viento procedente del NE, es decir, de zonas forestales.

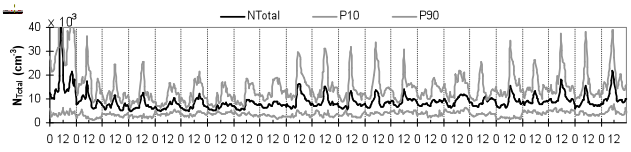


Figura 5. Evolución diaria promedio mensual de la concentración numérica total y modal en el rango sub-micrométrico desde julio de 2004 hasta julio de 2006.

Los eventos de brisa presentan un incremento de la concentración principalmente en los modos Aitken y acumulación, no presentando crecimiento hacia diámetros superiores. Dos ejemplos pueden observarse en la parte inferior de la Figura 6. Este tipo de episodios están relacionados con procesos atmosféricos de recirculación, como es el caso de la brisa marina. Como características más relevantes se presentan su frecuencia de ocurrencia anual del

12%, su duración promedio de (02:40 ± 01:21)h y que las concentraciones numéricas se ven multiplicadas por un factor de 2.1. Está estimado que la hora de llegada de dicha masa de partículas sobre El Arenosillo se produce 01:35h después de cambio de régimen de brisa de tierra a brisa de mar.

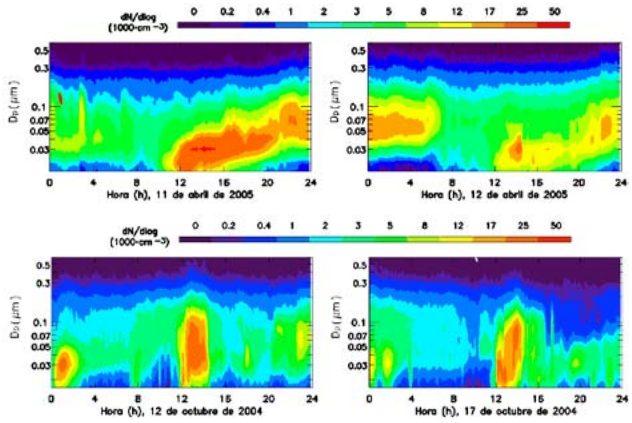


Figura 6. Evolución diurna de las distribuciones numéricas correspondientes a los días 12 y 14 de octubre de 2004 y 11 y 12 de abril de 2005 en El Arenosillo.

Caracterización del PM10 en la comunidad de Andalucía. Normativa de la UE

Los parámetros que mejor reflejan la calidad del aire son los medioambientales, con lo que debido a la conciencia que tienen en las administraciones públicas en Andalucía de la incidencia del material particulado sobre la salud humana, se han creado redes regionales para monitorizar el indicador seleccionado por la Unión Europea. Las bases comunes para la definición de los objetivos comenzaron con la Directiva 96/62/CE, seguida de la Directiva 1999/30/CE en la que se implantó como métrica másica de medida el PM10 y se aconsejó comenzar a medir el PM2.5. En la actualidad es la Directiva 08/50/CE la que indica los valores límites de los principales contaminantes atmosféricos en Europa.

En dicha directiva se presentan los valores límite para la protección de la salud humana, en referencia al PM10. El límite promedio diario es de 50 ug/m3, no pudiéndose superar más de 35 veces por año civil y el límite promedio anual es de 40 ug/m3 con un margen de tolerancia del 20%. En cuanto al PM2.5, el valor límite objeto a conseguir antes del 1 de enero de 2015 es de 25 ug/m3, permitiendo un margen de tolerancia del 20% hasta el 11 de junio de 2008, y que se reducirá el 1 de enero siguiente y, en lo sucesivo, cada 12 meses, en porcentajes idénticos hasta alcanzar un 0% el 1 de enero de 2015. A continuación habrá una segunda fase en la que antes del 1 de enero de 2020 ha de haber un valor límite anual de 20 ug/m3 sin ningún tipo de tolerancia.

En el sur de Europa, los valores límite de PM10 se superan principalmente en zonas urbanas (Querol et al., 2004), debido al elevado tráfico rodado existente ya que en ellas habita la mayor parte de la población. En este tipo de emplazamientos, la influencia del tráfico puede observarse a partir de la evolución diaria del PM10, tal y como la Figura 7 muestra en la estación de situada en la Avenida Marconi en la provincia de Cádiz.

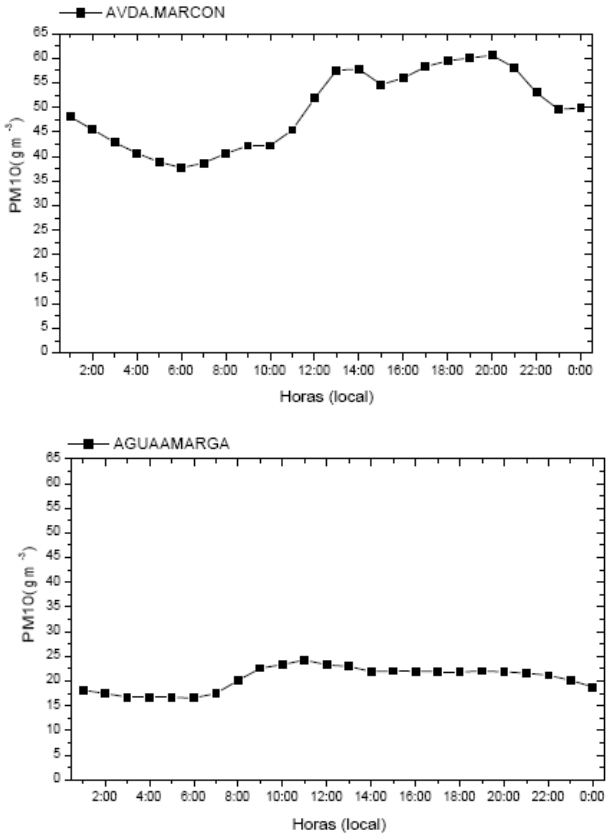


Figura 7. Evolución promedio diaria anual de PM10 durante 2003-2008 en las estaciones de la Avda. Marconi (Cádiz) y en Aguaamarga (Almería).

En dicha evolución, el incremento de la densidad del tráfico desde las 06:00h produce un incremento de la concentración de partículas, alcanzándose a las14:00h un valor promedio diario superior a 55 ug/m3 y a las 20:00h superior a 60 ug/m3.

En cambio, en zonas rurales de fondo como el emplazamiento de Aguaamarga en la provincia de Almería, la evolución diaria presenta inferiores y constantes valores de PM10, debido a una reducción de emisiones contaminantes en las regiones circundantes. En este tipo de emplazamientos, la variabilidad está marcada por causas meteorológicas y/o sinópticas, tales como las masas de aire con aerosol desértico, las cuales incrementan los valores de PM10.

Ozono superficial

El ozono superficial en la baja troposfera. Precursores y procesos de formación.

Como es bien conocido, el ozono es un gas que se encuentra mayoritariamente en la estratosfera, jugando un papel beneficioso, puesto que absorbe gran parte de la radiación ultravioleta que llega a la atmósfera terrestre. Sin embargo, como cualquier otra molécula, el ozono tiene una serie de propiedades físicas y químicas. Dentro de las propiedades físicas destaca la ya mencionada de absorber la radiación ultravioleta, mientras que como propiedad química más destacable se tiene su gran capacidad oxidante.

Debido a este potencial oxidativo, el papel beneficioso que tiene en la estratosfera se vuelve perjudicial en las capas bajas. De esta manera, a concentraciones medias y altas, el ozono es considerado un gas muy perjudicial, por producir graves afecciones tanto en la salud humana como en la vegetal, sin olvidar los daños que causa con el deterioro de muchos materiales.

Los procesos de formación y destrucción del ozono en la baja troposfera son completamente diferentes a los que se producen en la estratosfera, puesto que tanto la radiación disponible en ambas regiones de la atmosfera como su composición son muy distintas. El ozono superficial no es emitido directamente a la atmosfera, sino que es una sustancia secundaria, formada a partir de otras sustancias primarias, conocidas como precursores. Los precursores del ozono son los óxidos de nitrógeno y los compuestos orgánicos volátiles.

Si se supone una atmósfera no contaminada, es decir en la que no haya precursores de ozono, se tendría una concentración de ozono natural que se formaría a partir del siguiente ciclo.

NO2 + hν ==> NO + O (280 < λ < 420 nm) **(4)**

O + O2 + M ==> O3 + M **(5)**

O3 + NO ==> NO2 + O2 **(6)**

En una atmósfera no contaminada el NO obtenido en la reacción 1 reaccionará con el ozono, para obtenerse nuevamente la molécula de NO2 según la reacción 3. Si no hay más sustancias presentes, las reacciones (1 a 3) ocurren rápidamente, estableciéndose una situación estacionaria de formación y destrucción de ozono.

Esta situación se rompe cuando el camino para convertir NO a NO2 se produce sin el consumo de la molécula de ozono, teniendo como consecuencia la acumulación de éste. Este hecho tiene lugar cuando se tienen radicales peroxialquilo (RO2·), estos radicales oxidan a las moléculas de hidrocarburos, que reaccionan con el NO para formar NO2, rompiendo de esta forma el estado fotoestacionario en favor de la producción de O3 (Figura 8).

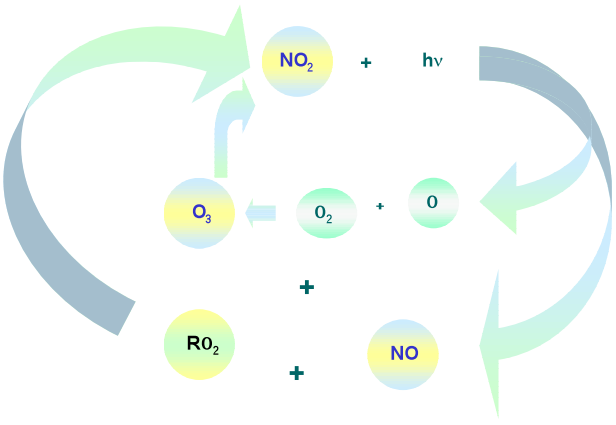


Figura 8. Ciclo de formación de ozono en atmósfera contaminada.

Existen diversos procesos químicos y físicos por los que el ozono es destruido en la baja troposfera. De entre todos estos procesos son los procesos físicos por depósito los que mayoritariamente causan la destrucción del ozono. Este proceso puede tener lugar por vía húmeda o seca. Debido a la escasa solubilidad del ozono, el proceso por vía húmeda no es un proceso significativo de eliminación, por lo que todo el ozono que se destruye por deposición lo hace por vía seca. Sobre la superficie terrestre la velocidad de deposición seca puede ser un orden de magnitud mayor que la que se produce sobre el océano.

El tiempo de residencia del ozono en la troposfera varía significativamente dependiendo de la latitud, altitud y estación del año. Este tiempo es más corto en verano que en invierno, debido a la mayor radiación en verano, que produce mayor eliminación. Es más corto en la superficie que en niveles altos, puesto que la concentración de vapor de agua también es mayor; mientras que, en niveles altos la vida media es mayor porque se reduce el vapor de agua y la intensidad solar.

Variaciones mensuales y diarias.

El ozono superficial presenta unas marcadas variaciones tanto estacionales como diarias; esta variabilidad viene determinada por numerosos factores, siendo los más importantes la radiación solar y las condiciones meteorológicas y topográficas.

La formación del ozono superficial está fuertemente influenciada por la radiación solar, ya que es la energía sin la que las reacciones fotoquímicas no pudieran tener lugar. Debido a ello, la variación estacional que presenta la radiación

solar hace que la formación de ozono igualmente presente dicha variación. En la Figura 9 se muestra la evolución mensual que presenta el ozono en cuatro emplazamientos de Huelva (Adame et al., 2009a). Los emplazamientos de El Arenosillo, Cartaya y Valverde son rurales, mientras que el de Huelva se ubica en la propia ciudad.

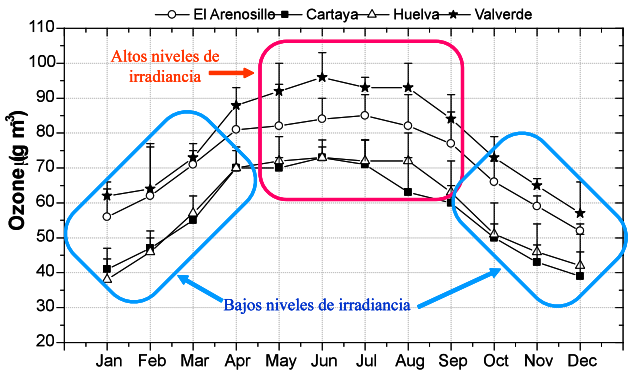


Figura 9. Evolución mensual de la concentración de ozono registrada en estaciones rurales y urbanas de Huelva. Período 2000-2008.

El máximo de radiación solar se presenta en los meses de verano, por esto se registran los máximos de ozono en estos meses. Se pueden presentar máximos secundarios en primavera (siendo en algunos emplazamientos incluso de igual magnitud o ligeramente superiores a los de verano) teniendo un origen diferente a los máximos de verano. Pues estos tienen su explicación en la gran cantidad de COV´s que se tienen en esta época del año de origen natural, ya que coincide con la época de la floración primaveral.

La variación diaria que presenta el ozono en un emplazamiento superficial, depende de muchos factores, pero quizás los más importantes sean la altitud del emplazamiento y la localización del mismo, respecto a las zonas de emisión de contaminantes primarios, además de niveles de radiación solar y condiciones meteorológicas.

La altitud del emplazamiento es un factor que afecta al comportamiento del ozono, pues en zonas de valles o planicies, se producen con mayor frecuencia las inversiones nocturnas, esto hace que el volumen de la capa de mezcla nocturna sea pequeña y haya una mayor eliminación de ozono por deposición seca o por reacción con otras especies, como pudiera ser el NO. Esto se verá reflejado en un mayor contraste en las concentraciones de ozono durante el día y la noche. En lugares elevados no se producen inversiones nocturnas tan fuertes, y la destrucción del ozono durante la noche no es tan acusado, presentándose en este tipo de observatorios diferencias de ozono menores durante el día y la noche. En lugares urbanos y suburbanos, a primeras horas de la mañana se produce la ruptura de la capa de inversión nocturna, debido a esto se produce un descenso de la capa residual, situada por encima de la inversión. Esto tiene como consecuencia, que tanto contaminantes primarios, como ozono del día anterior desciendan hasta la superficie, traduciéndose en un rápido aumento de los niveles de ozono, antes de comenzar la formación fotoquímica, como se puede ver por ejemplo en las variaciones diarias que experimentan las concentraciones de ozono en diversas estaciones del área metropolitana de Sevilla (Figura 10) (Adame et al., 2008).

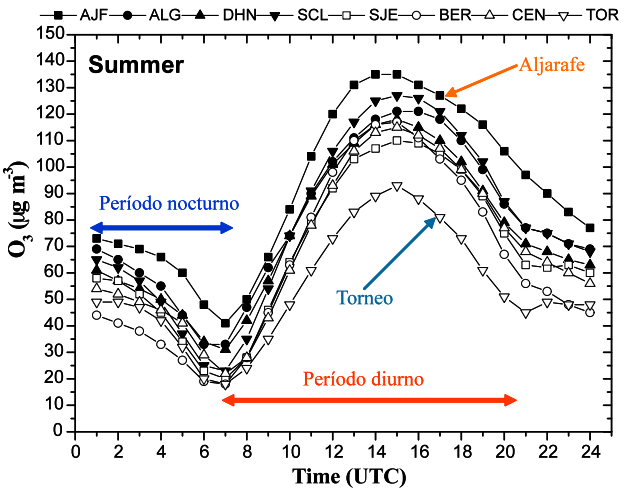


Figura 10. Evolución diaria durante los meses de verano de la concentración de ozono medida en estaciones urbanas y suburbanas de Sevilla. Período 2003-2007.

Las emisiones que se producen en una zona urbana hace que la masa de aire sea definida como una región limitante en VOC´s, puesto que se tiene en exceso de monóxido de nitrógeno (NO), que consume ozono y disminuye la producción de radicales. Una vez que la masa de aire urbana avanza siguiendo la dirección del viento y se va mezclando con parcelas de aire no urbano, no recibiendo por tanto NOx, la formación del ozono aumenta a partir de los hidrocarburos más reactivos, hasta que la concentración de NO disminuye tanto que pasa a ser limitante de NO, o bien anochece y se detienen los procesos fotoquímicos.

En este momento la deposición seca hace disminuir los niveles de ozono en superficie, no ocurriendo lo mismo en altura, donde a la mañana siguiente se puede volver a dar una nueva producción de ozono. Estos procesos ocurren en escalas de 10 a 100 km de la zona de emisión de precursores, aunque la influencia de la concentración de ozono regional en grandes áreas rurales puede ser notable. Por esta razón las zonas de impacto de medias-altas concentraciones de ozono vendrán definidas por las direcciones dominantes de los flujos y serán aquellas regiones rurales alejadas de las zonas urbanas entre 30 a 50 km.

En el área de estudio se tiene una zona costera en la que se producen fenómenos de mesoescala, brisas costeras (Adame et al., 2009b) y un valle de un gran amplitud, como es el valle del Guadalquivir (Figura 1). La dirección predominante del viento viene condicionada por la dirección del eje del valle. Desde la zona de costa son emitidos precursores de ozono, zonas urbanas de Huelva y Sevilla, así como un área industrial ubicada en las cercanías de la ciudad de Huelva. Cuando son trasladadas estas sustancias valle arriba se producen las mencionadas reacciones fotoquímicas, dando lugar a la formación de ozono. De esta manera se llegan a detectar altas concentraciones de ozono en la propia área metropolitana de Sevilla o zonas más alejadas de la costa, al nordeste de la ciudad de Sevilla.

Normativa y superaciones

Debido a los afectos adversos que el ozono superficial puede causar en la salud humana y vegetación. Se han definido dos directivas europeas exclusivamente dedicadas a la contaminación por ozono superficial. La primera directiva de estas características fue definida en el año 1992 según la Directiva 92/72/CE. Cada una de estas directivas europeas debe ser traspuesta por cada uno de los estados miembros que componen la Comunidad Europea. De esta forma en el caso de España, la mencionada Directiva de 2002 fue traspuesta al ordenamiento jurídico español en 1995, según el Real Decreto 1494/1995. La segunda directiva europea se definió en el año 2002, según la Directiva 2002/3/CE, la cual fue traspuesta en España según el Real Decreto 1096/2003 relativo al ozono en al aire ambiente.

En la actualidad la directiva de 2002 es la que está en vigor y en ella se definen una serie de umbrales para la protección de la salud humana y de la vegetación, los cuales se exponen a continuación:

Umbrales para la protección de la salud humana.

- Umbral de alerta a la población. Se define el umbral de alerta si se supera en un promedio de una hora un valor de 240 µg m-3.
- Umbral de información. El umbral de información igualmente se define con un valor horario pero en este caso con una concentración de 180 µg m-3.
- Umbral de protección a la salud humana. Este umbral se calcula a partir del valor máximo diario de las medias 8 horas móviles calculadas a lo largo de un día. El umbral en este caso se define con un valor de 120 µg m-3.

Umbrales para la protección de la vegetación.

Para la protección de la vegetación se utiliza un parámetro conocido como AOT40 (Accumulated dose over a threshold of 40 ppb) el cual viene expresado en µg m-3 · h y se calcula como la suma de la diferencia entre las concentraciones horarias superiores a los 80 µg m-3 (40 ppb) y 80 µg m-3 a lo largo de un período, utilizando únicamente los valores horarios medidos entre las 8:00 y las 20:00 horas. En función del período considerado se define el umbral para la protección de la vegetación y de los bosques.

- Umbral de protección de la vegetación. Sería aquel valor de AOT40 calculado a partir de los valores de mayo a julio y que no debe superar los 6000 µg m-3 h.
- Umbral de protección a los bosques. Sería aquel valor de AOT40 calculado a partir de los valores de abril a septiembre y que no debe superar los 20000 µg m-3 h.

A modo de ejemplo, se presenta en la Figura 11 el valor medio del parámetro AOT40 calculado en el periodo 2000 a 2007 en varias estaciones de Huelva. Los resultados obtenidos indican que se superan en todas las estaciones tanto el umbral de protección a la vegetación como el de bosques. En el caso de la estación urbana de Huelva, estaría más cercano al umbral, sin embargo en zonas rurales como Valverde o El Arenosillo, donde precisamente cobra mayor interés la evaluación de este parámetro, se obtienen resultados que pueden llegar a duplicar los valores definidos en la Directiva.

Al igual que se obtiene estos resultados en la zona de Huelva, son representativos de toda la parte occidental de España puesto que de la evaluación que se ha hecho con otras estaciones rurales ubicadas a lo largo del valle Guadalquivir se ha constatado que la superación de este umbral se produce de manera reiterada todos los años.

Figura 11. Valor medio del parámetro AOT40 (2000-2007) para el umbral de protección a la vegetación y bosques en estaciones rurales (Arenosillo, Cartaya y Huelva) y urbana de Huelva. Porcentaje de días con superaciones del umbral de protección a la salud humana en estaciones de Huelva (2000-2007).

Respecto a los umbrales definidos para proteger la salud humana, se pueden conocer las superaciones del umbral de información y alerta por ozono en la web de la Consejería de Medio Ambiente de la Junta de Andalucía (www.juntadeandalucia.es/medioambiente) donde quedan reflejadas todas las superaciones que se producen. A modo de ejemplo, se muestra en la Figura 11 el porcentaje de días con superaciones del umbral de protección a la salud humana en estaciones de Huelva (2000-2007).

Estas superaciones se producen con mayor frecuencia en las estaciones rurales que en las urbanas y más en primavera y verano que en otoño e invierno. De hecho, en algunos emplazamientos no se llegan a detectar superaciones durante la época de invierno. Las causas de estos hechos está en la ya mencionada dinámica que muestra el ozono superficial, formación de ozono con el transporte de las masas de aire desde las zonas urbanas o industriales, por tanto mayores concentraciones en las zonas rurales, como se pone de manifiesto con el comportamiento en frecuencia de las superaciones.

En primavera y con mayor intensidad en verano, se tienen las temperaturas más elevadas, los índices de irradiancia solar más altos, a lo que hay que añadir mayor intensidad en los procesos de mezclado vertical, capas de mezcla bien definidas y capas residuales en altura. Todos estos factores, unidos a procesos recirculatorios si se tiene una región costera, como es la zona de estudio, hacen que los niveles de ozono superen los umbrales establecidos por la legislación europea.

La metodología y estudios presentados, en cuanto al análisis que se está realizando con la contaminación por ozono en la parte occidental de Andalucía son similares a los que se están realizando en otras regiones y extrapolables a posibles estudios en zonas urbanas, suburbanas y rurales de Sudamérica, donde este tipo de trabajos de investigación son muy escasos.

Conclusiones

El ozono superficial y sus precursores son medidos en el sudoeste de Europa en diferentes estaciones urbanas, suburbanas y rurales. La información generada es analizada en El Arenosillo. Las zonas más afectadas por altas concentraciones de ozono son las zonas rurales. En numerosas ocasiones durante la primavera y verano se superan los umbrales legales para la protección de la salud, mientras que los umbrales para la protección de la vegetación y bosques se superan de forma generalizada.

La concentración numérica de partículas es medida de forma continua en la Estación de Sondeos Atmosféricos El Arenosillo. Se ha observado que los mayores valores son alcanzados al mediodía y durante la primavera, debido a la ocurrencia de eventos de nucleación y de brisa. La concentración másica de partículas PM10 se monitoriza en diferentes emplazamientos de carácter urbano, suburbano y rural. La incidencia de la densidad del tráfico influye directamente en el PM10 y por ello, en las evoluciones diarias en los emplazamientos urbanos. Los emplazamientos rurales muestran un valor constante a lo largo del día.

Agradecimientos

Agradecer a la Agencia Estatal de Meteorología de España, la a Red de Información Agroclimática de Andalucía y a la Red de Vigilancia y Control de la Calidad del Aire de Andalucía de la Consejería de Medio Ambiente de la Junta de Andalucía la utilización de la información que generan en sus redes y la facilidad que se muestra en disponer de toda la información. Mencionar también al Grupo de Óptica Atmosférica de la Universidad de Valladolid, por el esfuerzo realizado en caracterizar el aerosol presente en El Arenosillo.

Referencias

- Seinfeld & Pandis, 1998.
- Adame, J.A., Bolívar, J.P., De la Morena, B. 2009a. Surface ozone measurements in the Southwest of the Iberian Peninsula (Huelva, Spain). Environmental Science and Pollution Research. Aceptado para publicación. doi: 10.1007/s11356-008-0098-9.
- Adame, J.A., Lozano, A., Bolívar, J.P., De la Morena, B., Contreras, J., Godoy, F. 2008. Behaviour, distribution and variability of surface ozone at an arid region in the South of Iberian Peninsula (Seville, Spain). Chemosphere, 70, 841-849. doi: 10.1016/j.chemosphere.2007.07.009.
- Adame, J.A., Serrano, E., Bolívar, J.P., De la Morena, B. 2009b. On the tropospheric ozone variations in a coastal area of the southwestern Europe under mesoscale circulation. Aceptado para publicación en Journal of Applied Meteorology and Climatology.
- Adame J.A. 2005. Caracterización y comportamiento del ozono superficial en la provincia de Huelva. Tesis Doctoral. Universidad de Huelva. España.
- Chalupa D.C., Morrow P.E., Oberdörster G., Utell M.J &, Frampton M.W. 2004. Ultrafine Particle Deposition in Subjects with Asthma. Enviromental Health Perspectives. Vol. 112, 8.
- Charlson R.J., Lovelock J.E., Andreae M.O. & Warren S.G. 1987. Oceanic phytoplankton, atmospheric sulphur, cloud albedo and climate. Nature., 326, 655-661.
- Gonzalez-Castanedo Y., De la Rosa J. D., Sánchez de la Campa A., Alastuey A., Querol X., Bolivar J.P., Cachorro V. and Sorribas M. 2007. Levels and Chemicals composition of PM10 and PM2.5 in El Arenosillo rural monitoring station (SW Spain).
- Lin, C.Y., Wang, Z., Chou, C., Chang, C.C., Liu, S.C. 2007. A numerical study of an autumn high ozone episode over southwestern Taiwan. Atmospheric Environment 41, 3684–3701.
- Kleinman, L.I., Ryan, W.F., Daum, P.H., Springston, S.R., Yin-Nan Lee,Y.N., Nunnermacker, L.J., Weinstein-Lloyd, J. 2004. An ozone episode in the Philadelphia metropolitan area. Journal of Geophysical Research, 109, D20302, doi:10.1029/2004JD004563.

- Klot V.S., Meter A., Aalto P., Bellander T., Berglind N., D'Ippoliti D., Elosua R., HÖrmann A., Kulmala M., Lanki T., Löwel H., Pekkanen J., Picciotto S., Sunyer J. & Forastiere F. 2006. Ambient Air Pollution Is Assiciated UIT Increased Risk of Hospital Cardiac Readmissions of Myocardial Infarction Survivors in Fice European Cities. Circulation,. DOI:10.1161/CIRCULATIONAHA.105.548743.
- Mogo S., Cachorro V.E., Sorribas M., De Frutos A.M. and Fernández R. 2005. Measurements of continuous spectra of atmospheric absorption coefficients from UV to NIR via optical method. Geophysical Research Letters, 32, L13811, doi:10.1029/2005GL022938.
- Querol X, Alastuey A., Rodríguez S., Viana M.M., Artíñano B., Salvador P., Mantilla E., García do Santos S., Fernandez Patier R., De la Rosa J., Sanchez de la Campa A., Menéndez M. & Gil J.J. 2004. Levels of paticulate matter in rural, urban and industrial sites in Spain. Science of the Total Environment, 334-335, 359-376.
- Sorribas M. 2007. Medida y caracterización del aerosol atmosférico en un ambiente rural y costero del suroeste de Europa. La distribución numérica de tamaños en el rango sub-micrométrico. Dpto. de Física Teórica, Atómica y Óptica. Universidad de Valladolid.
- Sorribas M., Cachorro V.E., Adame J.A., Wehner B., Birmili W., Wiedensohler A., De Frutos A.M. and De la Morena B.A. 2007. Sub-micrometric aerosol size distributions in Southwestern Spain: relation with meteorological parameters. ICNAA, Galway (Ireland).
- Takemura T., Nakajima T., Dubovic O., Holben B.N. & Kinne S. 2002. Single-scattering albedo and radiative forcing of various aerosol species with a global three-dimensional model. Journal of Climate, 15, 4, 333 - 352.
- Toledano C. 2005. Climatología de los aerosoles mediante la caracterización de propiedades ópticas y masas de aire en la estación 'El Arenosillo' de la red AERONET. Tesis Doctoral. Dpto. de Física Teórica, Atómica y Óptica. Universidad de Valladolid. España.
- Toledano, Cachorro V.E., Berjón A., De Frutos A.M., Sorribas M., De la Morena B.A. & Goloub P. 2007. Aerosol optical depth and Angström exponent climatology at El Arenosillo AERONET site (Huelva, Spain). Q. J. R. Meteorol. Soc., 133, 795-807.
- Toledano C. Cachorro V.E., De Frutos A.M., Sorribas M., Prats N., De la Morena B.A. 2007b. Inventory of African desert dust events over the Southwestern Iberian Peninsula in 2000-2005 with and AERONET Cimel Sun photometer. J. Geophys. Res., 112, D21201, doi:10.1029/2006JD008307.
- Vergaz R. 2001. Propiedades Ópticas de los Aerosoles Atmosféricos. Caracterización del Área del Golfo de Cádiz. Tesis Doctoral. Dpto de Física Teórica, Atómica y Óptica. Universidad de Valladolid.

RELACIÓN INFILTRACIÓN – ESCURRIMIENTO EN UNA CUENCA SERRANA BONAERENSE

Delgado, M. Isabel (1, 2);
Gaspari, Fernanda J. (1) ;
Senisterra, Gabriela E.(1);
Besteiro, Sebastián I. (3),
Rodriguez Vagaria, Alfonso M. (1)

(1) Cátedra de Manejo de Cuencas Hidrográficas, Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, UNLP. Diagonal 113 Nº 469, La Plata CP 1900, Buenos Aires.

(2) CONICET

(3) ANPCyT

E-mail de contacto: isadelgado80@yahoo.com.ar

Palabras claves

- cuenca hidrográfica
- escurrimiento
- infiltración
- Número de Curva

La cuenca hidrográfica del Arroyo Belisario (2.596 ha), se ubica en el sudoeste de la provincia de Buenos Aires, en el sistema serrano de Ventana. La cabecera de la cuenca se desarrolla sobre terreno rocoso, con pastizal natural y pendientes del 8 al 30 %. La parte media y baja se extiende sobre terreno tipo loess, con cubierta forestal y desarrollo de actividades agrícolas, contando con pendientes menores al 3 %. El objetivo del trabajo fue estimar la relación infiltración - escurrimiento en la cuenca del Arroyo Belisario. Se utilizó el método del Número de Curva (NC), desarrollado en 1972 por el SCS-USDA. Se basa en la estimación directa del escurrimiento superficial de una lluvia aislada a partir de características del suelo, y tipo de uso del suelo, definiendo las condiciones hidrológicas para cada complejo suelo-vegetación. A partir de características físicas del suelo, se estableció el Grupo Hidrológico a nivel de subcuenca, determinándose luego el NC, considerando el tipo de uso del suelo. Como etapa final se realizó un análisis de la relación infiltración-escurrimiento de manera cualitativa. Los resultados presentaron una notable amplitud en los valores de NC dentro de la cuenca, variando desde 55 hasta 91. En consecuencia, tanto el escurrimiento como la infiltración tienen una respuesta variada a lo largo de la cuenca. Por ejemplo en la parte baja, la infiltración se encuentra por sobre el escurrimiento, principalmente debido a la cobertura. Mientras que en la cabecera de la cuenca, el escurrimiento supera ampliamente a la infiltración, siendo ésta casi nula, producto principalmente del tipo de suelo. Se concluye que es fundamental idear un plan de manejo para la cuenca, de modo de evitar potenciales daños humanos, ambientales, y productivos.

Introducción

El agua es un recurso de importancia primaria para el desarrollo socioeconómico de una región, para preservar sus características ambientales, y una de las bases esenciales para la vida. Un conocimiento y seguimiento adecuado de su comportamiento resulta cada día más importante, no sólo para una correcta planificación del uso del agua sino también para prevenir cualquier alteración cuali – cuantitativa del recurso hídrico.

La influencia de la vegetación en el fenómeno erosivo se debe a la protección del suelo frente al impacto de la gota de lluvia, disminuyendo su energía cinética inicial. Por otro lado, al aumentar la permeabilidad del suelo, incrementa la infiltración, disminuyendo de este modo la lámina de escurrido. Las raíces disminuyen la disgregación del suelo, dependiendo, la profundidad edáfica de tal efecto, del tipo de suelo y de la naturaleza de la vegetación (Mintegui Aguirre y López Unzú, 1990).

La unidad de estudio empleada, la cuenca hidrográfica, fue definida por la Food and Agricultural Organization (F.A.O.) en el año 1988, como una unidad territorial formada por un río con sus afluentes y por un área colectora de las aguas. En la cuenca están contenidos los recursos naturales básicos para múltiples actividades humanas, como ser agua, suelo, vegetación y fauna. Todos ellos mantienen una continua y particular interacción con los aprovechamientos y desarrollos productivos del hombre.

Según la teoría de la dinámica de cuencas, existe una relación estable entre la geometría de las cuencas hidrográficas y los volúmenes de agua y sedimentos movilizados en su interior. Una alteración de este equilibrio provocaría la presencia de fenómenos de ajuste, tanto mediante procesos de baja intensidad pero ampliamente extendidos en el tiempo, como a través de fenómenos puntuales de alta intensidad. La existencia de fenómenos torrenciales puntuales puede no ser debida únicamente a desajustes locales, pero es evidente que

la presencia de los mismos favorece su desarrollo y magnifica sus consecuencias (Mintegui Aguirre y López Unzú, 1990; Michelena, 2006 a, b).

El área bajo estudio, la cuenca del Arroyo Belisario, se ubica en el Sudoeste de la Provincia de Buenos Aires, Partido de Tornquist, específicamente sobre el Sistema Serrano de Sierra de la Ventana. El mismo constituye uno de los dos grandes sistemas de sierras que emergen de la llanura bonaerense. Forman un conjunto de cadenas montañosas, de relieve pronunciado, con una orientación Noroeste a Sudeste, presentando un ancho máximo de 60 kilómetros y una longitud de 180 kilómetros. En este conjunto se distinguen dos regiones morfoestructurales distintas: una occidental, integrada por las Sierras de Puán, Pigüe, Curamalal, Bravard y de la Ventana, y otra oriental, formada por las Sierras de Las Tunas y Pillahuinco (Harrington, 1972). En estas cadenas se encuentran las mayores elevaciones de la provincia de Buenos Aires: sus niveles de cumbres oscilan entre 900 y 1000 metros sobre el nivel del mar, siendo el Cerro Tres Picos el más alto, con 1.239 m de altura.

La cuenca del Arroyo Belisario está atravesada por dos grupos geológicos: el Providencia, que ocupa la casi totalidad del sector serrano y el Lolén, en el valle y las lomadas. El espesor del primero oscila entre 200 y 300 metros, siendo mayor en el Lolén, con 450 metros.

Según Cellini y Silva (1988), el área se compone de dos elementos geomorfológicos completamente diferentes: las sierras y el pedemonte adyacente. Siendo el primero el cordón serrano que flanquea por el Oeste a la zona de topografía accidentada con grandes y continuos contrastes de pendientes. Se trata de un área rocosa (cuarcitas y esquistos), sin la presencia de suelos, especialmente en las divisorias de aguas, existiendo un suelo esquelético en las laderas con más suaves pendientes. Sus accidentes más notables son los pequeños y estrechos valles que evolucionan, pendiente abajo, a depósitos en abanicos aluvio - coluviales.

El resto del área está cubierta de sedimentos modernos loessoides, eólicos, areno-limo-arcillosos, de espesor variable, que pueden asentarse directamente sobre rocas cuarcíticas y / o esquistosas; como así también cubrir un horizonte clástico (conglomerado de las piedras) de variable espesor y distribución areal incierta.

La cuenca hidrográfica del Arroyo Belisario, afluente del Arroyo del Oro, es a su vez tributario del Río Sauce Grande, desembocando sus aguas en el Dique Paso de las Piedras, para finalmente proveer de agua potable a la ciudad de Bahía Blanca. La cuenca del Arroyo Belisario se sitúa geográficamente entre los paralelos de 38º 04' y 38º 08' Latitud Sur y los meridianos de 61º 54' y 61º 58' Longitud Oeste. La misma cuenta con una superficie total de 2.596 hectáreas, siendo sus cauces principales el Arroyo El Negro, Las Piedras, y Belisario. Los dos últimos se encuentran delimitando la localidad turística de Villa Ventana (Figura 1).

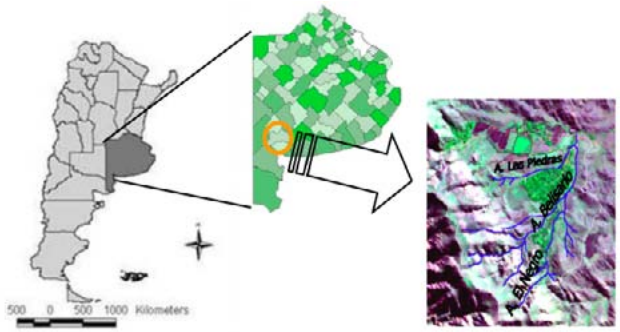


Figura 1. Mapa de ubicación de la cuenca del Arroyo Belisario.

Según Kosarik (1967) y Hauri (2006), los suelos dominantes en la cuenca alta del Arroyo Belisario son Hapludoles líticos, ocupando principalmente las laderas en pendientes abruptas, por encima de las cuales aparecen rocas aflorantes desprovistas de suelo. Sólo en lugares donde la capa de loess, material original, alcanzó un espesor suficiente, se encuentran Hapludoles típicos. La escasa profundidad y presencia de fragmentos de roca y tosca, asociadas a las fuertes pendientes, son las principales limitaciones de esta unidad. En la cuenca media y baja los suelos dominantes son Hapludoles típicos, con la aparición de Hapludoles líticos en las pendientes más fuertes.

La metodología de Thornthwaite clasifica el clima como templado y subhúmedo seco (Burgos, 1963). La temperatura media varía de 6,7 ºC a 23,2 ºC, siendo la media anual de 14,5 ºC. La precipitación media anual varía de 1.056 a 396 mm, siendo la media histórica para la localidad de Tornquist de 615 mm. La distribución temporal de las precipitaciones tiene una marcada estacionalidad, concentrando el 63,7% del total en el semestre octubre a abril; los meses de marzo y abril registran los mayores valores mensuales. No existe estacionalidad marcada en la dirección y velocidad de los vientos predominantes. La humedad media anual es del 70 %; las heladas son frecuentes entre abril y septiembre, registrándose la mayor ocurrencia en junio, julio y agosto. (Gaspari, 2000).

En cuanto a las características fitogeográficas, considerando el relieve de la cuenca y ante la gran variedad de especies que la componen, se distinguen tres tipos de asociaciones: 1) Asociaciones de las lomadas suaves: donde la totalidad de esta área presenta una vegetación esteparia constituida por hierbas perennes xerófilas, con gran semejanza a la existente

en las llanuras que rodean las sierras. La pradera graminosa es abundante, especialmente en los lugares carentes de afloramientos rocosos. En este tipo de vegetación predominan diversas especies del género Stipa. 2) Asociaciones de los torrentes y manantiales: donde el lecho mayor se cubre de abundante vegetación acuática, que es la que mejor define su amplitud y alcance, con una cierta distribución irregular en algunos puntos para convertirse en un tapiz continuo en otros. Se destaca sobre las demás por el porte elegante, hojas grandes y flores blancas, el Senecio bonariensis, hierba perenne y rizomatosa, de uno a dos metros de altura. La acompañan una juncácea, Juncos microcephalus var. Floribundus, algunas ciperáceas, como el "junco" Scirpus riparius, S. californicus, Carex pseudocyperus var. Polystichia, C. bonariensis, C. riparia var. Chilensis, como así diversos representantes de los géneros Heleocharis y Cyperus, y la "cortadera" Cortadera dioica. 3) Asociaciones de las laderas y cerros: en las sierras la vegetación se empobrece, presentándose en manchones aislados, siendo causa de ello, los numerosos y extensos afloramientos de roca viva.

La región se encuentra en la actualidad en gran crecimiento económico y demográfico a la vez, producto fundamentalmente del auge turístico que viene aconteciendo desde la última década. Por otro lado, la población estable de la región también se ha incrementado notablemente en los últimos años, produciendo ambas el consecuente incremento en la demanda de recursos, ya sean estos renovables o no, y el consecuente impacto (negativo o positivo), sobre la región y su dinámica de funcionamiento.

El objetivo del presente trabajo fue estimar la relación infiltración – escurrimiento en la cuenca del Arroyo Belisario, en el Partido de Tornquist (Provincia de Buenos Aires).

MATERIALES Y MÉTODOS

Se aplicó el método del Número de Curva (NC), desarrollado por el Soil Conservation Service, United States Department of Agriculture, en el año 1972. El método se basa en la estimación directa del escurrimiento superficial de una lluvia aislada a partir de características del suelo, y uso y cubierta vegetal, definiendo las condiciones hidrológicas para cada complejo suelo-vegetación. Valores mayores de NC representarán valores mayores de escurrimiento. Considerando el estado de humedad del suelo antecedente a la lluvia (López Cadenas de Llano, 1998), se utilizó la Condición de Humedad Antecedente II.

En primer lugar se estableció el Grupo Hidrológico (GH) a nivel de subcuenca, definido a partir de las características físicas del suelo. Se trata de una clasificación de suelos según permeabilidad y escurrimiento, determinadas en base a su textura, y por consiguiente su respuesta frente a la infiltración. Existen cuatro grupos hidrológicos distintos: A) mínimo potencial de escurrimiento, con suelos profundos, con predominio de arena y grava; B) suelos mayoritariamente arenosos; C) textura franco-arcillosa; D) suelos predominantemente arcillosos, con máximo potencial de escurrimiento.

Determinado el GH al que corresponden los diferentes suelos de la cuenca, y teniendo en cuenta su cobertura vegetal y uso del suelo, se establecieron los NC en las diferentes áreas, para lo cual se utilizaron las tablas correspondientes (Mintegui Aguirre y López Unzú, 1990; López Cadenas de Llano, 1998). Se realizó por medio de la superposición geoespacial de los datos correspondientes al grupo hidrológico, y al tipo de cobertura vegetal y uso del suelo. En la Tabla 1, se presentan los aspectos que definen el método, según investigadores del Hydrologic Engineering Center (2000).

Ventajas	**Desventajas**
Simple, predecible y estable	Los valores predichos no concuerdan con la teoría clásica de flujo insaturado
Se apoya en sólo un parámetro (que varía según GH, uso y prácticas, condiciones de la superficie y humedad).	La tasa de infiltración se acercará a cero en una tormenta larga (en lugar de ser constante).
Método bien establecido, y muy aceptado mundialmente.	Fue desarrollado con datos de pequeñas cuencas agrícolas de Estados Unidos (extrapolación incierta).
Las características de los datos de entrada de variables ambientales se encuentran razonablemente bien determinados.	La abstracción inicial no depende de características de la lluvia ni del tiempo. No considera intensidad de la lluvia.

Tabla 1. Características del Número de Curva. Fuente: Hydrologic Engineering Center (2000).

A partir de los valores de NC, se realizó un mapa que identificó las tendencias de escurrimiento. Este se obtuvo por combinación del mapa de NC, con el mapa de rangos de pendientes (realizado a partir del Modelo Digital del Terreno, por procesamiento del Mapa Topográfico).

RESULTADOS

La Figura 2 representa el Modelo Digital del Terreno correspondiente a la cuenca del Arroyo Belisario, en el mismo puede apreciarse que el desnivel dentro de la cuenca ronda los 750 m. La división en subcuencas se representa en la Figura 3, identificándose un total de 16 subcuencas.

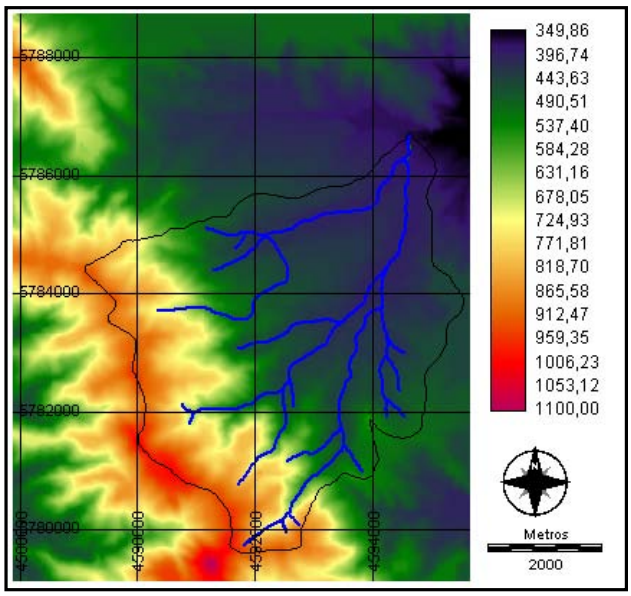


Figura 2. MDT de la cuenca del Arroyo Belisario.

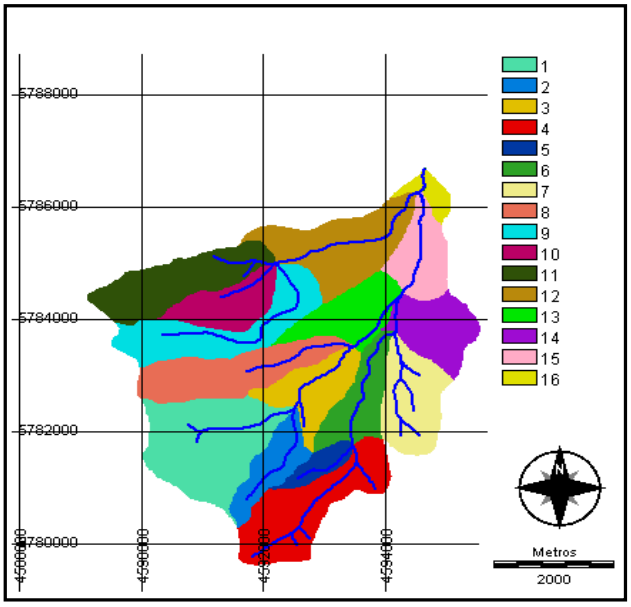


Figura 3. Mapa de división de subcuencas.

En cuanto a las características edafológicas, dentro de la cuenca se encuentran representadas las Unidades Cartográficas de Suelos (UCS) Duf 2 y R. Según la información elaborada por el Instituto de Suelos del INTA Castelar, la UCS Duf 2 es una unidad de tipo complejo, ubicada en pendientes del 1 al 3 %, la capacidad de uso es III, y su índice de productividad de 51. Se encuentra integrada por tres series taxonómica: representadas en un 40 % por Dufaur, un 40 % por Naposta, y un 20 % por Tres Picos. En tanto que para la UCS R se define una capacidad de uso VIII, por lo que estas tierras no reúnen las condiciones mínimas para actividades de producción agropecuaria o forestal alguna. Las tierras de esta clase tienen utilidad sólo como zonas de preservación de flora y fauna, protección de áreas de recarga acuífera, reserva genética y belleza escénica. Su índice de productividad es 3 D 3 F. Su paisaje es serrano, y el componente taxonómico tiene una posición de loma, representado un 100 % por afloramientos rocosos, denominados por I.N.T.A. como Misceláneas.

Luego de analizar los datos edafológicos y geológicos se determinó el Grupo Hidrológico, definiéndose la correspondencia de la unidad cartográfica Duf 2 con el grupo hidrológico B. La unidad cartográfica R se estableció coincidente con las características del grupo hidrológico D (Figura 4).

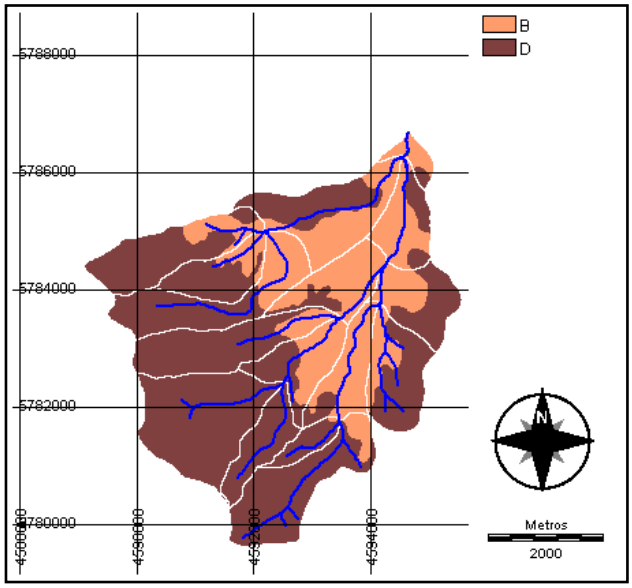


Figura 4. Mapa de distribución de Grupos Hidrológicos.

En esta figura se representa la distribución areal de los Grupos Hidrológicos, donde se observa la presencia predominante de la UCS Duf 2 (856,3 ha) en la parte baja de la cuenca, mientras que la UCS R (1.739,9 ha), predomina totalmente en la parte alta de la cuenca.

En la Tabla 2 se presentan los distintos usos del suelo y su superficie de ocupación en la cuenca del Arroyo Belisario, según lo expresado en la Figura 5.

Uso del Suelo	Superficie (ha)
Cultivo agrícola	79,8
Cultivo con medidas conservacionistas	62,1
Monte	2,9
Monte con arbustal	63,4
Pastizal serrano pobre	763,3
Pastizal con afloramientos rocosos	1.267,5
Parque Provincial Ernesto Tornquist	65,6
Vegetación ribereña	60,4
Villa Ventana	227,0
Viñedo	4,0

Tabla 2. Usos de suelo en la cuenca del Arroyo Belisario, y su superficie de ocupación.

En la Figura 5 se presenta el mapa de uso del suelo para la cuenca del Arroyo Belisario, a nivel de subcuenca.

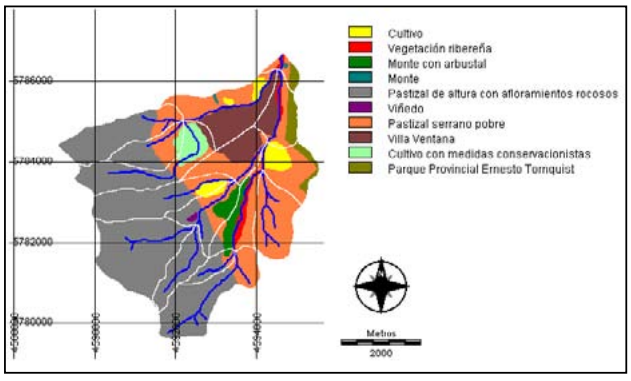


Figura 5. Mapa de uso del suelo de la cuenca del Arroyo Belisario.

Se observa un total de 10 tipos distintos de uso del suelo, constituyendo la base cartográfica utilizada para determinar posteriormente el Número de Curva.

En cuanto a la caracterización del tipo de uso de suelo denominado Villa Ventana, cabe mencionar que la totalidad de las calles de dicha localidad son de tierra, así como las veredas de césped. El arbolado urbano se encuentra completo en toda la localidad, y además la mayoría de las propiedades particulares posee ejemplares arbóreos en su interior. Si bien la localidad se encuentra en un período de expansión económica, no existe presencia de estructuras edilicias de envergadura.

Existe un alto grado de ocupación perteneciente al uso del suelo Pastizal serrano pobre (763 ha), y al Pastizal de altura con afloramientos rocosos (1.267 ha). En tanto que la categoría siguiente, según superficie de ocupación, es el área abarcada por la localidad de Villa Ventana (227 ha). Se presentan además, sectores ocupados por cultivos agrícolas convencionales, denotándose la existencia de un pequeño sector con implementación de medidas conservacionistas. Los valores de N.C., obtenidos a partir de la interacción entre el GH y el Uso del Suelo, se presentan en la Tabla 3.

Uso del Suelo	GH B	GH D
Cultivo agrícola	78	79
Cultivo con medidas conservacionistas	75	86
Monte	55	77
Monte con arbustal	60	79
Pastizal serrano pobre	79	89
Pastizal con afloramientos rocosos	69	84
Parque Provincial Ernesto Tornquist	61	80
Vegetación ribereña	58	78
Villa Ventana	74	86
Viñedo	81	91

Tabla 3. Valores de Número de Curva.

A partir del análisis de la Tabla 3, se observa una notable amplitud en los valores de NC dentro de la cuenca, por ejemplo, un valor de 55 para un uso del suelo correspondiente a la categoría Monte y un GH B, mientras que para un Viñedo su valor asciende a 81 para un GH B, alcanzando valores de hasta 91 para el caso de un GH D. En la Figura 6 se presenta el mapa de NC, obtenido según Uso del suelo y GH.

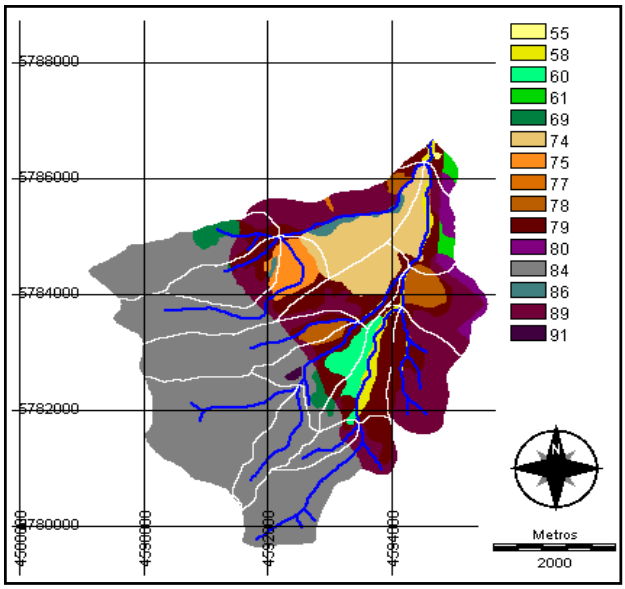


Figura 6. Mapa de Valores de NC.

Generando una integración entre la Figura 6 y la Tabla 3, se observa que la parte alta de la cuenca presenta un valor de 84 de NC, representado en tonalidad grisácea. Mientras que en la parte media a baja los valores de NC son netamente menores a 85, a excepción de los sectores con presencia de pastizal serrano pobre en conjunción con el Grupo Hidrológico D, donde se alcanzan valores de 89. Cabe destacar que la zona forestal de Villa Ventana con NC de 74, es la que presenta el mayor porcentaje de ocupación luego del pastizal con afloramiento rocoso.

En la Tabla 4, se presenta el valor de NC ponderado por superficie para cada subcuenca. Puede observarse que en todas las subcuencas el valor es superior a 70. A la vez, en ninguna de las ocasiones, el valor asciende a más de 85 para ninguna subcuenca, hecho que presupone que el escurrimiento a nivel superficial será de moderado a alto, expresado en el inciso correspondiente a la aplicación de modelos hidrológicos.

Subcuenca	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
NC ponderado	84	84	77	84	84	71	85	84	81	83	82	81	78	83	75	72

Tabla 4. Valores ponderados de Número de Curva, a nivel de subcuenca.

A partir de estos resultados, se generó el mapa de tendencia de escurrimiento (Figura 7), según el criterio de zonificación de la tendencia de escurrimiento establecido en la Tabla 5. Los rangos de pendiente utilizados son los definidos por Mintegui Aguirre (1988).

	Rangos de valores de NC					
Rangos de pendiente (%)		< 60	61-75	76-80	81-85	> 86
	0-3	MB	MB	MB	B	M
	3-12	MB	B	B	M	A
	12-18	B	M	M	A	MA
	18-24	M	A	A	MA	MA
	24-30	M	A	MA	MA	MA
	>30	A	MA	MA	MA	MA

Tabla 5. Rangos de tendencia de escurrimiento, establecidos según valores de pendiente y NC.

En la Figura 7 se observa el mapa de Tendencia de escurrimiento, establecido de manera cualitativa. La parte alta de la cuenca del Arroyo Belisario se encuentra prácticamente ocupada en su totalidad por la categoría de Muy alta tendencia al escurrimiento, mientras que en la parte media y baja de la cuenca toma preponderancia la categoría de Baja tendencia. Este notable contraste se debe principalmente a la elevada pendiente presente en la parte alta, y a la presencia de cobertura forestal (Villa Ventana), en la parte media y baja de la cuenca, factor que contribuye notablemente a brindar valores bajos de NC.

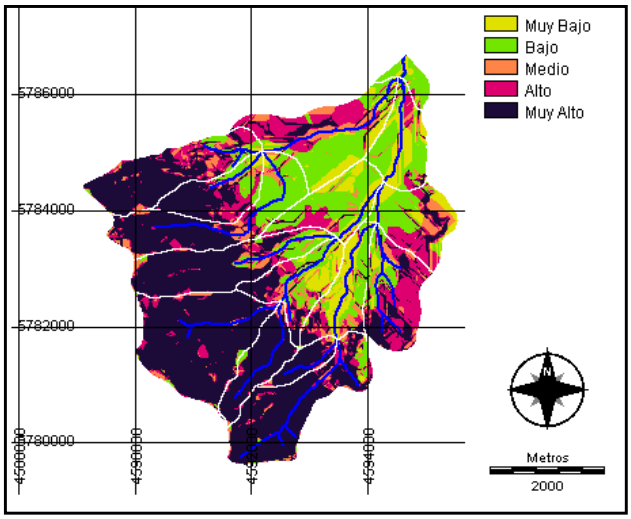


Figura 7. Mapa de tendencia de escurrimiento.

En la Tabla 6, se encuentra la superficie correspondiente a cada categoría de tendencia de escurrimiento, a nivel de cuenca hidrográfica del Arroyo Belisario. Considerando que la superficie total de la cuenca es de 2.596 ha, casi el 50 % de su territorio se encuentra bajo la categoría Muy Alto.

Rango de Tendencia de Escurrimiento	% de ocupación	Superficie (ha)
Muy Bajo	9,4	244,7
Bajo	19,9	515,6
Medio	8,6	224,0
Alto	15,2	394,5
Muy Alto	46,9	1.217,2

Tabla 6. Rangos de tendencia de escurrimiento.

A partir de la determinación de zonas homogéneas de tendencia de escurrimiento se estableció la relación infiltración – escurrimiento con el método del Número de Curva, debido a que el mismo establece que un mayor NC expresa un mayor escurrimiento debido a las condiciones de cobertura y suelo, favorecidas por la pendiente. En el caso que la relación se genere en NC bajos, se indica que el sitio expresa una buena infiltración.

CONCLUSIONES

Al tratarse de un área de características netamente serranas, el escurrimiento tiene influencia en la dinámica del ciclo hidrológico a nivel de esta cuenca hidrográfica. En cuanto a la dinámica hídrica que tiene lugar en la parte alta de la cuenca, el escurrimiento se incrementa por las características edáficas, pues existe predominancia de afloramientos rocosos en estas zonas. El escurrimiento es el proceso más relevante en este sector por la acción conjunta de la escasa infiltración natural que presenta su superficie (afloramientos rocosos superficiales y subsuperficiales) y las marcadas pendientes. Se reconoce que más del 38 % de la cuenca (1.000 hectáreas), presenta una pendiente mayor al 24 %.

Como un factor adicional que contribuye al incremento del escurrimiento en dicha zona, es el tipo de uso del suelo que se realiza desde años atrás. La compactación del suelo actual, es el producto directo de las malas prácticas de uso del suelo, específicamente la sobrecarga animal. Si bien el ingreso de ganado se ha reducido en los últimos años, el sistema aún no se ha recuperado.

En la parte baja de la cuenca, los sectores con mayor infiltración se correspondieron con los menores NC, atribuidos a la presencia del arbolado urbano presente en Villa Ventana. El método del Número de Curva permitió establecer la relación infiltración – escurrimiento, y zonificar a partir de todos los factores intervinientes la dinámica del agua a nivel de subcuenca.

REFERENCIAS

- Burgos, J. 1963. Las heladas en la República Argentina. INTA. Colección Científica, Vol. 3.
- Cellini, N. y D. Silva. 1988. Provisión de agua potable a la localidad veraniega de Villa Ventana. Tornquist. PBA. Comunicación.
- FAO. 1988. Manejo integrado de cuencas hidrográficas en A. Latina. Santiago de Chile. Pp 36.
- Gaspari, F. 2000. Ordenamiento Territorial en Cuencas Serranas. Aplicación de Sistemas de Información Geográfica (SIG). Ediciones Cooperativas. Pp. 115.
- Harrington, H. I. 1972. Sierras Australes de Buenos Aires. Academia Nacional de Ciencias. Geología Regional Andina. Córdoba. Argentina. P. 394-405.
- Hauri, B.A. 2006. Determinación de la erosión hídrica superficial asociada al uso del suelo en la cuenca hidrográfica del arroyo Belisario. Tesis de Magister Scientiae en Manejo Integral de Cuencas Hidrográficas, FCAyF, UNLP. Pp. 113.
- Kozarik, J. C. 1967. Estudio preliminar del estado natural de la cuenca Arroyo Belisario para su futura ordenación. Tesis de Grado. Pp. 53.
- López Cadenas de Llano, F. 1998. Restauración hidrológico forestal de cuencas y control de la erosión. Ed. TRAGSA. Madrid. 945 pp.
- Michelena, R. 2006 a. Manejo de Cuencas Hidrográficas. Maestría Recursos Naturales. Facultad de Ciencias Naturales. Universidad Nacional de Salta. Salta. 59 pág.
- Michelena, R. 2006 b. Manejo de cuencas torrenciales. Conferencia. XX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Salta.
- Mintegui, J. A. 1988. Análisis de la influencia del relieve en la erosión hídrica. Hipótesis de estudio para correlacionar la pendiente con la longitud del declive en un terreno. V Asamblea Nacional de Geodesia y Geofísica. pp: 2229-2245. Madrid.
- Mintegui Aguirre, J. A. y López Unzú, F. 1990. La ordenación agrohidrológica en la planificación. I parte. Servicio central de publicaciones del Gobierno Vasco. 172 pp.
- U.S. Army Corps of Engineers. Hydrologic Engineering Center. 2000. Hydrologic Modeling System HEC-HMS. Technical Reference Manual. 149 pp.

LAS INVESTIGACIONES DE LA RED MUSEAL PANGEA. ENFOQUE MULTITEMPORAL PARA LA INDAGACIÓN Y LA VALORIZACIÓN GEO-AMBIENTAL DE LA POMPEI DE LOS DINOSAURIOS "VALLE DE LOS TITANOS" (EL CUY, RIO NEGRO)

Finotti Franco(1),
Landini Walter (2),
Zandonai Fabiana(1)

(1) Museo Cívico de Rovereto (TN)

(2) Museo de Historia Natural y del Territorio, Universidad de Pisa

RESUMEN

La Red de los Museos naturalísticos italianos Pangea, en colaboración con el Museo Patagónico de Ciencias Naturales de General Roca, actua en Argentina desde el año 2005 en el sector de la investigación paleontológica y geofísica para el estudio, la conservación y la valorización del patrimonio geo-ambiental.

Como ya publicado (cfr. Finotti et ali., 2009), en el año 2005 en el Valle de El Cuy (Rio Negro) se ha individuado un área caracterizada por una fuerte concentración de esqueletos de titanosaurios en la Formación Anacleto (Santoniano-Campaniano). Desde entonces se han realizado dos campañas de investigación para caracterizar el área desde un punto de vista paleontológico y geofísico, para reconstruir la geometría del primer subsuelo y para poder presentar las informaciones naturalísticas de manera integrada. Esta nota, relativa a la actividad de la próxima campaña, quiere ilustrar la aplicación de nuevos sistemas de indagación sísmica y eléctrica, de tecnologías para el relieve 3D (fotos satelitares, laser-scan y cámara métrica con software de nueva generación) a gran y pequeña escala hasta los relieves micro de los hallazgos más significativos.

Dos son los aspectos interesantes: la integración de los datos científicos relativos al primer subsuelo con los datos geográficos y los modelos numéricos de los sitios y de los hallazgos, y la creación de un procedimiento eficaz que empieza con la documentación digital in situ para llegar al estudio, valorización y duplicación de los hallazgos.
Los datos estructurados de esta manera, disponibles en plataforma Web GIS, constituyen un sistema informativo importante, cuya fruición llega transversalmente a la investigación científica y a la economía. Así se concretiza la musealización difusa, reconociendo al área un papel fundamental para el conocimiento correcto y la valorización de los hallazgos.

INTRODUCCIÓN

La Red Museal PANGEA ha sido creada en el año 2004 por cuatro museos, precisamente por el Museo de Historia Natural y del Territorio de la Universidad de Pisa, el Museo Geopaleontológico del Castello di Lerici (SP), el Museo Cívico de Rovereto (TN) y el Museo de los Fósiles y de los Ámbares de S. Valentino in Abruzzo Citeriore (PE). Hasta ahora las actividades que Pangea ha emprendido han sido principalmente investigaciones paleontológicas y geofísicas aplicadas a la paleontología, además de experimentaciones de nuevos métodos e instrumentos, traducidas en actividades didácticas y conferencias realizadas tanto en Italia como en Argentina. Además todos los datos recogidos durante las investigaciones han sido georeferenciados y gestionados por el programa Geocollector (sistema Web Gis), que funciona con Google Earth.

ESTADO ACTUAL DE LA INVESTIGACIÓN PALEONTOLÓGICA Y GEOFÍSICA APLICADA A LA PALEONTOLOGÍA

A partir del año 2006, la Red Pangea ha realizado algunas campañas de investigación en el área "Campo Verdecchia", en el sector norteño del valle de El Cuy (Provincia de Rio Negro).

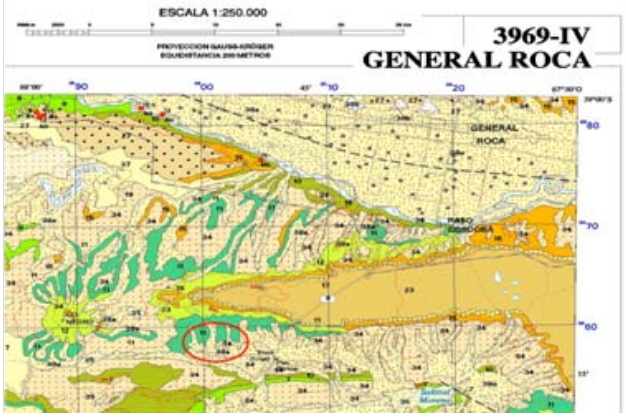


Fig. 1 – Mapa geológico con escala 1:250.000 Hoja 3969 IV (General Roca), con el área de los hallazgos en rojo.

El sitio (Fig.1) es caracterizado por una fuerte concentración de esqueletos de titanosaurios en los sedimentos de la Formación Anacleto (Santoniano-Campaniano). La Formación Anacleto está constituita esencialmente por sedimentos que se distinguen por una intensa tonalidad morado-rojiza. Se alternan a estas fangolitas algunos niveles de cálcaros concrecionales de coloración rosada o gris, que confieren al conjunto un aspecto típico bandeado (ver notas geológicas en Finotti et ali., 2009).

En la sucesión estratigráfica, parcialmente expuesta a los lados de la meseta (Fig. 2), se ha podido reconocer un nivel gris/verde con espesor de 1,5 - 2 m, con una fuerte concentración de huesos de Titanosaurio en yacimiento primario, cuya extensión lineal en el cuerpo sedimentario se ha medido alrededor de los 100 metros.

Fig.2 - Panorámica del nivel fosilífero. Los números indican los puntos de excavación en el año 2006 Y 2008.

Todas las pruebas han proporcionado hallazgos de Titanosaurios en buen estado de conservación con huesos con una conexión anatómica buena y concentrados cerca de la base del nivel. Cerca de estos huesos se hallaron también escasos restos de un teropode.

Los hallazgos se encuentran ahora en el Museo Patagónico de Ciencias Naturales de General Roca, donde han sido ya parcialmente restaurados por los paleontólogos argentinos que colaboran con Pangea y utilizan los instrumentos de la Estación Científica Italo-argentina.

Preliminarmente los hallazgos se pueden atribuir al género Laplatasaurus, un titanosaurio del Campaniano de la Patagonia, que llegaba a los 20 metros y pesaba 25 toneladas. Evidencias de sedimentos, tafonómicas y paleontológicas, concuerdan en el hecho de que el depósito se ha creado por una acción de entierro, aunque siguen todavía las indagaciones para una interpretación más precisa. Las sedimentitas de la Formación Anacleto denotan haber sido depositadas en ambiente fluvial de bajo gradiente, así como la presencia de ostracodes y cariofita revela la existencia de cuerpos lacustres en tramos. El hallazgo de algunas placas de tortuga acuática y de dientes de pez de agua dulce en las primeras inspecciones confirma esta hipótesis. Por último, la fuerte concentración de restos de esqueletos en el depósito fosilífero se puede interpretar como el resultado de una calamidad debida a una inesperada inundación de la cuenca.

ENFOQUE MULTITEMPORAL PARA LA RECONSTRUCCIÓN Y LA VALORIZACIÓN GEO-AMBIENTAL

Los colaboradores de la Red Pangea se caracterizan por tener diferentes competencias que permiten un enfoque multidisciplinar y dinámico hacia los proyectos desarrollados. Esta sinergia entre realidades museales atadas al territorio tiene el objetivo de conservar y tutelar el patrimonio cultural mundial, con la conciencia de que hay que difundir las informaciones relativas a los hallazgos conservados. Por eso Pangea está proponiendo estrategias de gestión y técnicas operativas innovadoras para la gestión y valorización de los bienes culturales.

Por la misma razón, en el caso del yacimiento fosilífero del "Valle de los Titanos", a la excavación paleontológica clásica se han asociado nuevos métodos para el relieve topográfico, geomorfológico y geofísico de detalle a gran y pequeña escala. Para la próxima campaña paleontológica se están recogiendo datos geográficos del territorio, datos numéricos 3D de los sectores de excavación y de los hallazgos más interesantes, y datos geofísicos del primer subsuelo que den informaciones sobre las propiedades sísmicas y eléctricas (resistividad, polarización inductiva y potenciales espontáneos).
El programa de investigaciones y estudios en el "Valle de los Titanos" se desarrollará en sentido multitemporal, para poder documentar la continua mutación espacio-temporal del área. Este enfoque por un lado implica un aumento de la complejidad del sistema de estudio, por otro lado contribuye a subrayar las anomalías.

El enfoque multitemporal quiere investigar los datos – analizados en función del tiempo - con nuevos sistemas para la investigación sísmica y eléctrica y nuevas tecnologías para trazados 3D (foto satelital, láser escáner, cámara métrica con software de nueva generación) a gran y pequeña escala y trazados micro.

Abajo se encuentra una descripción sintética de las aplicaciones macro y micro que individuamos después de su experimentación en áreas test italianas de igual complejidad.

TELERILEVAMENTO

Además del utilizo clásico de la fotointerpretación en la descripción de características geomorfológicas y geofísicas del territorio en remote sensing (fotos desde diferentes puntos aéreos, satelitales, a baja altura, etc), se aplican técnicas de análisis rápida utilizando tomas multitemporales según los movimientos del sol. Esta técnica muy simple consiste en la realización con una normal cámara de imágenes de la misma zona en instantes sucesivos, para sacar provecho de

las informaciones obtenidas por las diferentes condiciones de luminosidad (cfr Finotti et ali., 2009). Luego se comparan las imágenes según los parámetros albedo L, saturación del color S, color H (Fig. 3) o simplemente observando la diferencia. La naturaleza de las anomalías detectadas no se puede caracterizar a priori y constituye un elemento crítico de análisis que se examina caso por caso.

Este simple método de análisis es muy interesante también con fotos satelitales o fotos desde un dirigible a baja altura (10-20 metros), o fotos de objetos desde un lugar fijo.

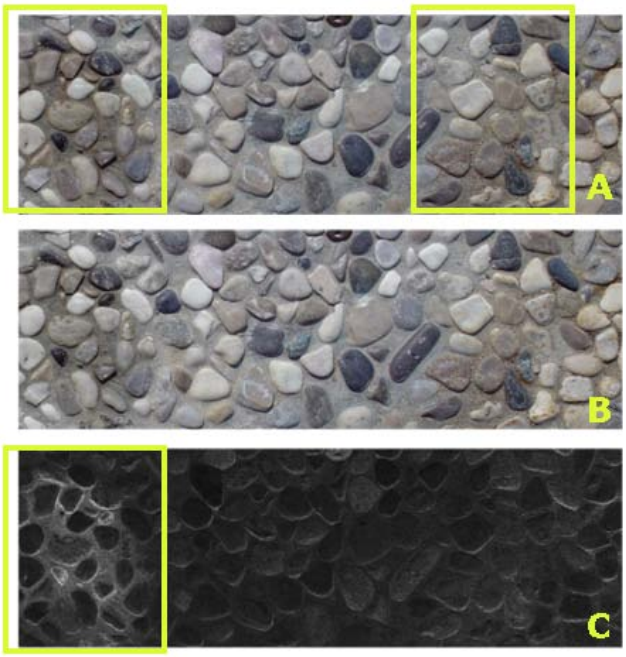


Fig. 3 - Las dos fotos (A y B), Tomas a distancia de casi una hora, parecen iguales y presentan dos zonas húmedas de igual significado. Si se hace la comparación de las dos imágenes, se puede notar la información adicional obtenida por el análisis multitemporal. Abajo (C), el campo de "residuas" en las tonalidades de gris.

RELIEVE 2D Y 3D

El relieve topográfico clásico se integra con escansiones con tecnología láser escáner y cámara métrica. Este último método, que el Museo Cívico de Rovereto ha aplicado con éxito al relieve 3D de objetos arqueológicos (Colección Paolo Orsi), se puede utilizar con la reconstrucción de frentes de excavación (macro) y con hallazgos más pequeños (micro), como las vértebras de dinosaurios o los procesos espinales. Este método permite producir modelos numéricos con resolución de 10-20 micrón a partir de imágenes calibradas. Como en la tecnología láser escáner, se obtienen nubes de puntos a través de una cámara fotográfica digital, un trineo de precisión y un software (Fig. 4) basado en un algoritmo innovador de análisis multifocal de la imagen. Luego se puede también imprimir en 3D conservando los colores originales. El Museo Cívico de Rovereto colabora en este proyecto con empresas a la vanguardia en el sector del relieve de detalle y en la restauración, como Sat Survey de Venecia.

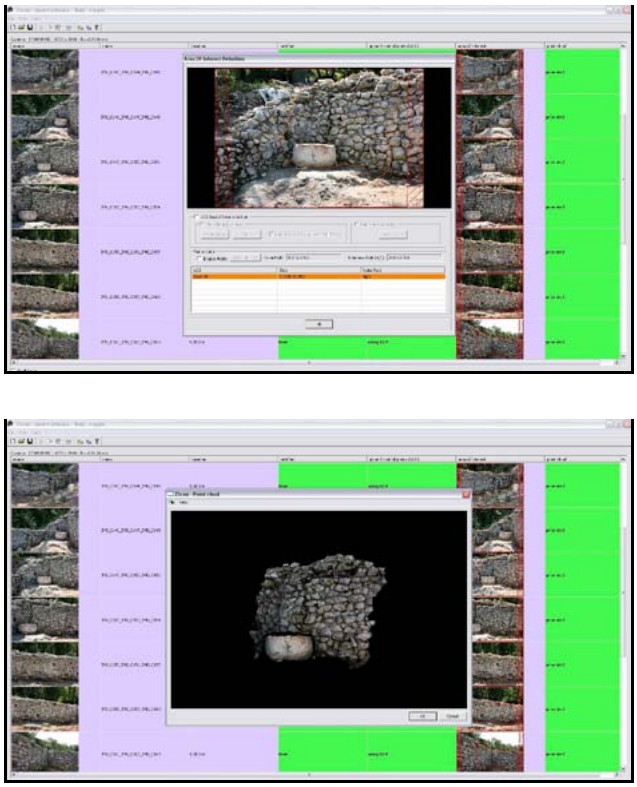


Fig. 4 – Extracto del software de gestión Zscan (©Menci), de las imágenes realizadas para modelar un antiguo barreño encontrado en un sitio arqueológico estudiado por el Museo Cívico de Rovereto (Isla de S. Andrea, Ayuntamiento de Mori, Trento, Italia).

PROSPECCIÓN GEOELÉCTRICA

En el sitio de El Cuy se había testado ya con éxito el método geoeléctrico. En la campaña de excavación del año 2010 se experimentará un nuevo instrumento multicanal y versátil, que consente la adquisición multitemporal de parámetros geoeléctricos clásicos (resistividad, ρ; potencial espontáneo, PS; potencial inducido, IP) de manera rápida y en array con un alto número de eléctrodos.

La novedad de este instrumento es la posibilidad de adquirir datos de manera multitemporal, pasivamente o activamente, con medidas de campos de potenciales que se podrán analizar tanto con el parámetro del tiempo como con el de la frecuencia. En el ámbito de este proyecto llamado Electra (Array digital modular, conexión directa al PC con interfaz USB, resolución 8 step desde 0.1µV/digit hasta 20µV/digit, tiempo de grabación ilimitado), empezamos una colaboración con la empresa Micromed, a la vanguardia en las aplicaciones eléctricas en la medicina. El análisis de comparación de estos parámetros del primer subsuelo permitirá hacer una diagnosis del terreno para distinguir los tejidos e individuar las heterogeneidades. En el área test de geofísica del Museo Cívico de Rovereto se han hecho los primeros test con éxito muy positivo (Fig. 5).

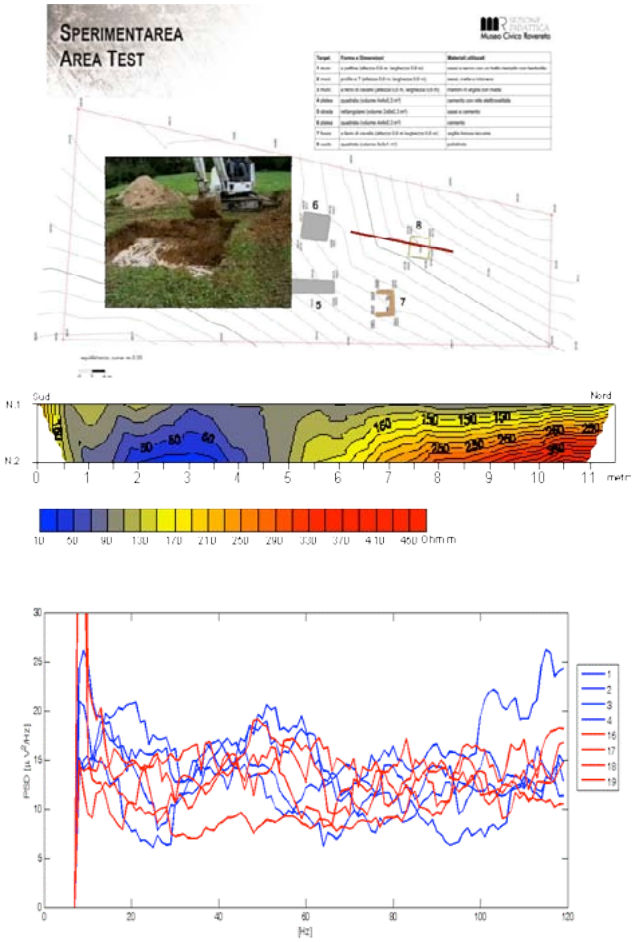


Fig. 5 – Arriba, el array electródico (traza roja) que ha interesado uno de los objetivos sepultados en el Área Test del Museo Cívico de Rovereto. Abajo, la pseudosección en resistividad aparente en la que se reconoce ya el objeto. A la derecha, el resultado de la adquisición de los primeros 12 sensores del ruido de fondo (sin energización) en el dominio de la frecuencia.

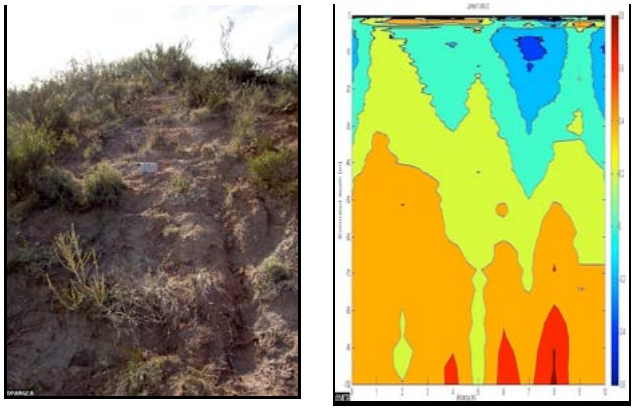


Fig. 6 – a) Medida de sísmica pasiva a estación simple; b) sección integrada del parámetro HVSR obtenida por la inversión bidimensional de las adquisiciones individuales hechas en un área en el "Valle de los Titanos". La sección muestra en la ordenada la profundidad, en la abscisa la posición progresiva a lo largo del estrato, mientras el parámetro H/V se expresa a través de una escala de colores logarítmica.

Fig. 7 – a) b) Tromógrafo unido a sensor trigger para realizar una adquisición de sísmica activa en ondas superficiales.

SÍSMICA ACTIVA Y PASIVA A ESTACIÓN SIMPLE Y EN ARRAY

A través de un tromógrafo Tromino (©Micromed), ligero y versátil en la versión con GPS y trigger, aumentan las medidas de ruido sísmico hechas durante las campañas de excavación del 2006 y del 2008 (Fig. 6, a y b) para obtener secciones integradas del parámetro HVSR (Horizontal to Vertical Spectral Ratio), realizadas por la técnica de las relaciones espectrales (ver lo descrito en Landini et ali, 2009).

Al mismo tiempo se utilizará el canal trigger para realizar indagaciones de sísmica activa MASW (Fig. 7, a y b). Analizando el fenómeno de la dispersión de las ondas superficiales, se quiere obtener una evaluación in situ de la velocidad de las ondas de corte del primer subsuelo, además de reconstruir la estratigrafía sísmica media a través de algoritmos de inversión.

De esta manera se puede vincular mejor el proceso de inversión de las curvas HVSR obtenidas por las medidas de sísmica pasiva en array de tamaño medio.

ARCHIVO Y GEOREFERENCIACIÓN DE LOS SITIOS

Se siguen catalogando todos los sitios paleontológicos y los puntos de medida geofísica a los cuales se asociarán las coordenadas geográficas determinadas por el sistema GPS y la cuota derivada por el relieve topográfico de detalle. Cada nuevo punto identificado se inscribe en la base de datos existente a través de una ficha dotada de imágenes. Esta base de datos, actualizada a la campaña de excavación del 2008, es gestionada por el programa Geocollector con Web Gis. El proyecto se encuentra en Google Earth, donde el conjunto de puntos (con relativas fichas) hasta ahora registrados es representado también por la función del tiempo: en la escala temporal se evidencian los diferentes momentos de la indagación desde el 2005 hasta hoy.

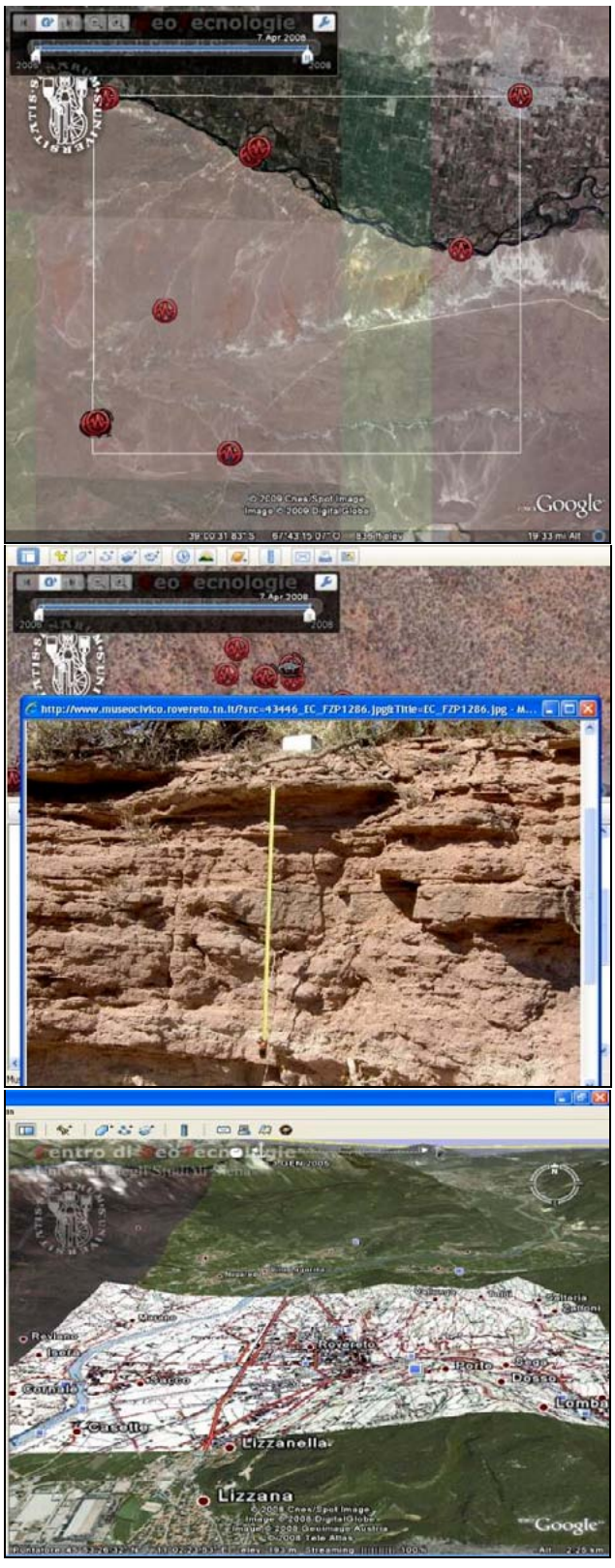


Fig. 10 – a) Georeferenziación de los sitios paleontológicos estudiados con representación que cambia al moverse el cursor en la barra temporal. b) Conexión con las bases de datos relacionadas con las diferentes informaciones gestionadas por el Web-Gis; c) Posibilidad de sobreponer layer georeferenciados diferentes al proyecto Web Gis. El caso del Proyecto Web Gis del Museo de Rovereto relativo a su territorio (Rovereto, TN, Italia).

CONCLUSIONES

Dos son los aspectos interesantes: la integración de los datos científicos relativos al primer subsuelo con los datos geográficos y los modelos numéricos de los sitios y de los hallazgos, y la creación de un procedimiento eficaz que empieza con la documentación digital in situ para llegar al estudio, valorización y duplicación de los hallazgos.
Los datos estructurados de esta manera, disponibles en plataforma Web Gis, constituyen un sistema informativo importante, cuya utilización llega transversalmente a la investigación científica y a la economía. Así se realiza la musealización difusa, reconociendo al área un papel fundamental para el conocimiento correcto y la valorización de los hallazgos.

BIBLIOGRAFIA

- FINOTTI F. & LANDINI W - 2009 - Las investigaciones de la red museal Pangea: desde el descubrimiento del "Valle de los titanos" hasta el control y valorización del territorio (El Cuy, Rio Negro). Actas del 4to. Encuentro Internacional del ICES, International Center for Earth Sciences, (E-ICES-4), 29 - 30 ottobre 2008, Malargüe, Mendoza, Argentina. DVD con ISBN: 978-987-1323-11-1.
- FINOTTI F., TONELLI A. & ZANDONAI F. 2009 Contributo alla fotointerpretazione di rilievi multitemporali a breve periodo in differenti campi applicativi. Atti del Workshop in geofisica , Rovereto 5 dicembre 2008, 41-52. ISBN 978-88-7498-115-1.
- FINOTTI F., ILICETO V., TONELLI A., CANALI M. & ZANDONAI F. 2009 - La banca dati ambientale del Museo Civico di Rovereto verso il sistema integrato WebGIS. Atti del Workshop in geofisica (2008) Atti del Workshop in geofisica , Rovereto 5 dicembre 2008, 171-177. ISBN 978-88-7498-115-1.
- CASTELLARO S., MULARGIA F. & BIANCONI L. 2005 - Stratigrafia sismica passiva: una nuova tecnica accurata, rapida ed economica. Geologia Tecnica e Ambientale, vol.3: 76-97.
- D'AMICO V., PICOZZI, M., ALBARELLO, D. NASO G. & TROPENSCOVINO S. - 2004 - Quick estimate of soft sediments thickness from ambient noise horizontal to vertical spectral ratios: a case study in southern Italy - Earthquake Engineering, 8, 6, 895-908
- HUGO C. A. & LEANZA H. A. - 2001 - Hoja Geologica 3969-IV, General Roca. Provincias de Rio Negro y Neuquén. Instituto de Geologia y Recursos Naturales, Servicio Geològico Minero Argentino. Boletín 308, 64 pp. Buenos Aires.
- IBS-VON SEHT M. & WOHLENBERG J. - 1999 . Microtremors measurements used to map thickness of soft sediments. Bull.Seismol.Soc.America, vol 89: 250-259.

- PANZA J. L., ETCHEVERRÍA M. P. &. PEZZUTTI N. E. 1999 Geologia Argentina. Subsecretaría de Minería de la Nación, Servicio Geologico Minero, Instituto de Geología y Recursos Minerales, Editor: Caminos R., Coordinador Editorial: Ratelli D.C. Anales n. 29: 810 pp, Buenos Aires.
- NAKAMURA Y. 1989 - A method for dynamic charatceristics estimates of subsurface using microtremor on the round surface. - QR of RTRI, vol.30: 25-33.
- BAKKER R.D. 1989 - Depth of investigation of collinear symmetrical four-electrode arrays. Geophysics, n.54: 1031-1037

SUSCEPTIBILIDAD DEL ÁREA NATURAL PROTEGIDA (ANP) Y PARQUE PROVINCIAL PRESIDENTE SARMIENTO, EN LA PROVINCIA DE SAN JUAN

Daniel Germán Flores (1)
Graciela Mabel Suvires (1, 2)

(1) UNSJ. Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales- INGEO-Gabinete de Geología Ambiental. Av. Ignacio de la Roza y Meglioli- CP 5400. Rivadavia, San Juan, Argentina dflores@unsj-cuim.edu.ar

(2) CONICET y UNSJ - Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales – INGEO –Gabinete de Geología Ambiental.

Palabras Claves

- Humedales
- Monte
- mapa
- especie exótica

Resumen

El área de estudio esta ubicada entre los 31o 40' S y 68° 30' O, en la porción distal del abanico de Zonda y al oeste de la Sierra de Marquesado, abarcando 720 has., a una altura inferior a 760 m.s.n.m.. Las lagunas que allí se forman no están siempre conectadas y algunas alcanzan una superficie próxima a 4 has., sujetas a las variaciones hidrológicas anuales y estacionales de los caudales del río San Juan. Este humedal es una superficie cubierta por agua, temporaria, dulce, con vegetación abundante en forma estratificada, influenciada directamente por el gradiente hídrico. El área brinda gran cantidad de posibilidades para realizar actividades recreativas (caminatas, avistajes de aves, fotografías) y educativas, donde se enseña sobre conservación, el hombre como componente de la naturaleza, medio ambiente natural y social dirigido a escuelas, turistas y lugareños; como asimismo para investigación científica (botánica, zoología, ecología, edafología, geología, hidrología, entre otras). Como todos los humedales el ANP Sarmiento es un regulador de la temperatura y de la humedad de la zona brindando un gran aporte de oxígeno hacia las zonas urbanas periféricas de la villa cabecera Departamental Basilio Nievas. El objetivo de la presente es diferenciar los ambientes naturales en cuanto a relieve, suelo y vegetación de este parque y encontrar los diferentes grados de susceptibilidad ante los cambios en los aportes hídricos de los caudales del río San Juan y un eventual cambio climático. En las tareas de apoyo de campo se registró un gradiente de variación en la vegetación en relación a los cambios de humedad de los suelos. Desde familias características del monte como Zigofiláceas, Fabáceas y Quenopodáceas hasta familias propias de humedales como Tifáceas y Juncáceas y bosques de especies exóticas. Se confeccionaron mapas identificando las unidades territoriales físicas y geoambientales de la zona, lo que sumado a la cartografía de los sectores con variaciones freáticas y suelos húmedos se concluyó en un cuadro de distintos grados de susceptibilidad. El sitio más susceptible es el compuesto por especies vegetales tanto del humedal como del monte. Los bosques de especies exóticas se los determinó como de baja susceptibilidad a la variación del nivel freático y a la introducción de otras especies exóticas.

Introducción

Entre los ecosistemas del planeta, los humedales se destacan por su gran productividad y biodiversidad, asemejándose con las selvas tropicales (Kusler et al., 1994). Estos ambientes son sistemas intermedios entre ambientes permanentemente inundados y ambientes normalmente secos, que muestran una enorme diversidad de acuerdo a su origen, localización geográfica, su régimen acuático y químico, características del suelo o sedimento y vegetación dominante (Hauenstein et al., 1999).

La zona anegada del Estero de Zonda es un ámbito natural de características singulares sobre el cual se ha actuado muchas veces, con una visión parcializada, sin considerar que se trata de un espacio con una dinámica propia, sobre el cual es necesario estudiar, proyectar y formular planes de manejo que orienten a su óptimo aprovechamiento (Gonzáles-Sánchez et al., 2004). Estos humedales, también conocidos como Esteros, Ciénagas o "Lagunitas" de Zonda, se incluyen dentro de la definición dada por Davis et al., 1996: "los humedales corresponden a extensiones de marismas, pantanos y turberas, o superficies cubiertas por agua, sean de régimen

natural o artificial, permanentes o temporales, estancadas o corrientes, dulces salobres o saladas, incluidas las extensiones de agua marina cuya profundidad en marea baja no exceda de seis metros". La importancia destacada de estos ecosistemas, radica en el hecho de constituir la principal fuente de agua para las poblaciones humanas, dependiendo de ellos cerca del 25 % de la productividad neta del planeta (Schnack, 2001).

Según la Ley Provincial 7586/ 2005, el Área Natural Protegida reviste la categoría de Reserva de Usos Múltiples, donde se pueden realizar diferentes actividades teniendo un control sobre las mismas. La población del lugar hace uso intensivo de los recursos vegetales como la totora, que la utilizan para la confección de artesanías con fines comerciales para la subsistencia familiar y para leña principalmente. El Estero de Zonda es el segundo humedal de importancia en la provincia de San Juan estando en primer lugar las Lagunas de Guanacache, embalses artificiales y otras lagunas temporales que no están incluidas en un registro formal o legal, todas ellas conforman un patrimonio de zonas húmedas que están dentro de un clima árido, seco, con lo cual su valor intrínseco como reguladores de temperatura, recreación y avistaje de aves entre otros. Cabe destacar que la importancia de estos humedales radica en que la recarga de agua de los mismos es exclusivamente subterránea y podemos reconocerla en tres lugares principales, el primero y mas importante es la recarga por la infiltración del río San Juan a su entrada en la depresión tectónica de Ullum-Zonda, el otro está constituido por los canales de riego y la superficie cultivada y el tercero es el agua aportada por el dique Embalse Ullum, ubicado inmediatamente al norte del Estero de Zonda (Gonzáles-Sánchez et al., 2004).

En relación a la vegetación, habitualmente las comunidades acuáticas presentan una clara zonación o ubicación en franjas bien delimitadas a orillas de cursos de agua (Ramírez et al., 1982; San Martín et al., 1999). La zonificación de los sectores del humedal es una herramienta importante al momento de desarrollar el plan de manejo de los mismos, teniendo en cuenta cada uno de los factores que se encuentran relacionándose entre si, ya que estos ecosistemas pueden verse afectados fácilmente por las actividades antrópicas o el uso excesivo de la tierra, entre otros.

La sensibilidad de los paisajes puede ser tratada en términos de la respuesta de los sistemas de paisajes a las perturbaciones ocurridas a diferentes espacio y tiempo. Los ambientes geomorfológicos pueden corresponder a sistemas estables o inestables (Suvires y Lloret, 2005).

Por tanto el objetivo de este trabajo es analizar la situación ambiental regional en el cual está inserta el Área Natural Protegida (ANP), evaluar los factores que influyen en la dinámica de la misma y elaborar un diagnóstico de susceptibilidad de zonas en base a los riesgos potenciales presentes en la reserva.

La metodología de trabajo consistió en la alternancia de etapas de gabinete y campo, dentificando las unidades geomorfológicas, las comunidades vegetales, identificando los sitios con mayor o menor variaciones a los niveles freáticos y finalmente cartografiando sectores con diferentes valores de susceptibilidad ambiental.

Geomorfologia del ANP y sus alrededores.

El valle de Ullum- Zonda (UZ), desde el punto de vista geológico-geomorfológico, es una depresión tectónica longitudinal que se extiende entre dos alineamientos montañosos morfoestructurales, de disposición casi Norte-Sur, perteneciente a la Precordillera Central al oeste y a la Precordillera Oriental al este. En su interior se desarrolla un extenso abanico aluvial depositado por el río San Juan hace más de 100.000 aAP (Pleistoceno Tardío) y que contiene un buen acuífero subterráneo. Esta cuenca tiene una superficie aproximada a 125 km2 .Está rellena con un espeso depósito de sedimentos aluviales, principalmente gruesos y permeables, transportados y depositados por el río San Juan desde los episodios posglaciales y cuya dinámica continúa en la actualidad aunque con menor intensidad. El espesor de este depósito o relleno aluvial supera los 500 m, según datos geofísicos señalados por Rocca, J.A., 1969, Zambrano, 1985 y Rodríguez et. al., INA-CRAS, 2002.

Unidades geomorfológicas (Fig. N° 1)

Las principales unidades geomorfológicas se han clasificado para este trabajo de acuerdo a tres jerarquías de relieves según una condición hipsométrica y no morfogenética en: U1 relieves altos, U2 medios y U3 bajos, conformados por:

Unidad 1 (U1): Montañoso: constituido por las serranías y lomas que enmarcan y rodean la depresión.

Unidad 2 (U2): Piedemontes: correspondiente a todos los depósitos y sedimentos sueltos que se ubican en los faldeos de la U1 y que están constituidos por litologías autoctónas provenientes de cada unidad montañosa.

Unidad 3 (U3): Depresión central: integrada por a) el abanico aluvial del río San Juan (U3.1), con sus partes proximal y media (U3.1.1 y U3.1.2 respectivamente); b) la actual planicie pantanosa distal (U3.2); y los remanentes de depósitos de una antigua o paleoplanicie lacustre (U3.3).

La U1 está integrada:

- Hacia el oeste del valle UZ por las sierras que pertenecen al conjunto morfoestructural de Precordillera Central y son: la sierra Alta o también llamada sierra Negra de Zonda (U1.1), el cerro Blanco (U1.2), la sierra de La Dehesa (U1.3) y las Lomas de la Dehesa (U1.4).
- Hacia el este del valle UZ por las sierras que pertenecen al conjunto morfoestructural de Precordillera Oriental y son: sierra Chica de Zonda (U1.5), sierra Marquesado (U1.6) y la Loma de las Tapias (U1.7).

La U1.1 y la U1.3: son sierras con disposición casi norte-sur, donde la primera tiene una altura máxima de 2161 m.s.n.m. mientras que la segunda alcanza en el área de estudio los 2800 m.s.n.m, ambas separadas por el cauce actual del río San Juan. Estas sierras están constituidas por sedimentitas (grauvacas, areniscas y lutitas) de colores verde oscuro asignadas al Paleozoico medio. Hacia el oeste de la sierra de la Dehesa se encuentran tobas, brechas y tufitas del Terciario.

La U1.2: corresponde a una intrusión volcánica de forma cónica compuesta por andesitas terciarias. Hacia el norte de ésta se eleva otra intrusión volcánica pero dacítica del cerro la Sal (Rocca, op.cit.).

La U1.4 o Lomas de la Dehesa son lomadas que tienen 1200 m de altura con una disposición NNE-SSO. Las lomadas bordean por el este a la sierra de la Dehesa o unidad U1.3. Están integradas mayoritariamente hacia el techo por sedimentitas conglomerádicas y poco cementadas del Terciario.

Los piedemontes (U2) provenientes de las unidades montañosas de las sierras Alta de Zonda y de la Dehesa están conformados por fragmentos angulosos, subangulosos, gravillas y arenas de la misma litología de sus afloramientos ya descriptos.

Las sierras Chica de Zonda y de Marquesado (U1.5 y U1.6 respectivamente) están compuestas por calizas, dolomías y pedernal del Paleozoico inferior predominantemente, y en forma menor por areniscas, lutitas y grauvacas del Paleozoico medio-superior. Ambas están limitadas hacia el oeste por la megafalla de Villicum-Zonda.

Finalmente, la U1.7 o Loma de Las Tapias (LLT) es una secuencia de sedimentitas continentales neógenas de 2174 m de espesor y representan un intervalo aproximado de unos 13 millones de años (Mioceno tardío hasta Actual) designada como Formación Loma de Las Tapias (Serafini et al., 1986).

LLT es un anticlinal asimétrico cuyo eje coincide en superficie con la ubicación de la presa embalse Dique de Ullum. La secuencia sedimentaria neógena sigue sufriendo los ajustes tectónicos de la región, dados por las sucesivas reactivaciones de la megafalla Villicum-Zonda (MFVZ) como por el sistema transversal de la megafalla Salinas Grandes (Suvires y Contreras, 2009, in press).

Los piedemontes (U2) provenientes de las unidades montañosas de las sierras Chica de Zonda y de Marquesado son asimétricos, siendo de mayor extensión los ubicados hacia sus laderas orientales. El desarrollo del piedemonte occidental está limitado por la traza de la MFVZ. Estos piedemontes están conformados por fragmentos angulosos, subangulosos, gravillas y arenas, de la misma litología de sus afloramientos. La depresión central o unidad (U3) corresponde al relieve más bajo del valle UZ, con una altura media de 780 m.s.n.m.

El abanico aluvial del río San Juan, con sus partes **proximal y media (U3.1.1 y U3.1.2 respectivamente)** es la unidad geomorfológica de mayor extensión en el valle de Ullum-Zonda, cuyo ápice se encuentra en la quebrada del río San Juan ubicado entre la Sierra Alta de Zonda - Cerro Blanco por el sur y la sierra de La Dehesa por el norte. Se extiende hacia el este a la manera de semicírculo hasta alcanzar su parte distal contra la sierra de Marquesado. El espesor de relleno aluvial cuaternario, de acuerdo a datos de subsuelo y de sondeos geoeléctricos del INA-CRAS, es superior a los 1000 m, constituidos por sedimentos gruesos, gravas y arenas.

Un abanico aluvial es una geoforma o unidad de relieve construccional con forma de semicírculo, drenaje radial centrifugo, depositado por un río e integrado por rodados y bloques en su porción proximal, los que disminuyen su tamaño hacia su parte distal.

El abanico aluvial en UZ comienza a los 830 m y desciende gradualmente hacia el E, con una pendiente entre 0,7 y 0,8 %, hasta los 765 m en el SE y los 768 m en el NE. Aunque Ullum y Zonda se encuentran en la misma depresión tectónica existen diferencias geomorfológicas construidas por los aportes aluvionales de ríos temporarios locales. El valle de Ullum está rodeado por la sierra de La Dehesa, al O y NO y la Loma de Las Tapias al E y descienden hacia el embalse de Ullum el río de La Dehesa (con dirección O-SE) y el río de la Travesía (NNO-SSE) que viene desde el valle de Matagusanos al norte. Por otra parte, el valle de Zonda recibe desde el sur al río de la Ciénaga. El sector distal de este abanico, entre las quebradas de Zonda y de Ullum, es donde se ubica la actual planicie pantanosa distal (U3.2) integrada por limos y arcillas con algunas intercalaciones de arena y algo de grava.

Otra unidad geomorfológica de interés es la U3.3 principalmente porque contribuye al conocimiento y reconstrucción de la historia geológica de la región en el Holoceno Tardío. Son los depósitos residuales y erosionados, que pertenecieron a una paleoplanicie lacustre (U3.3) hoy extinguida, y cuyos testigos coronan los alrededores del embalse - presa de Ullum así como los bordes sur y occidental del valle UZ. Estos fueron depositados en un lago que se formó al endicarse el río San Juan probablemente por ascenso de la sierra Chica de Zonda (Groeber y Tapia, 1926; Rocca, 1968). El espesor es de unos 30 m, estratificados en bancos delgados de limo, arena fina a muy fina y arcillas, que contienen gasterópodos de agua dulce. Hace unos 6500 años atrás, un lago natural se formó en la depresión de Ullum-Zonda y con posterioridad el antiguo río San Juan fue capturado a través de la quebrada de Ullum mediante una incisión del orden de 25 m, implicando una readaptación del gradiente del río mediante los efectos de la erosión retrocedente (Colombo et. al., 2000, Suvires, 1985, 2009).

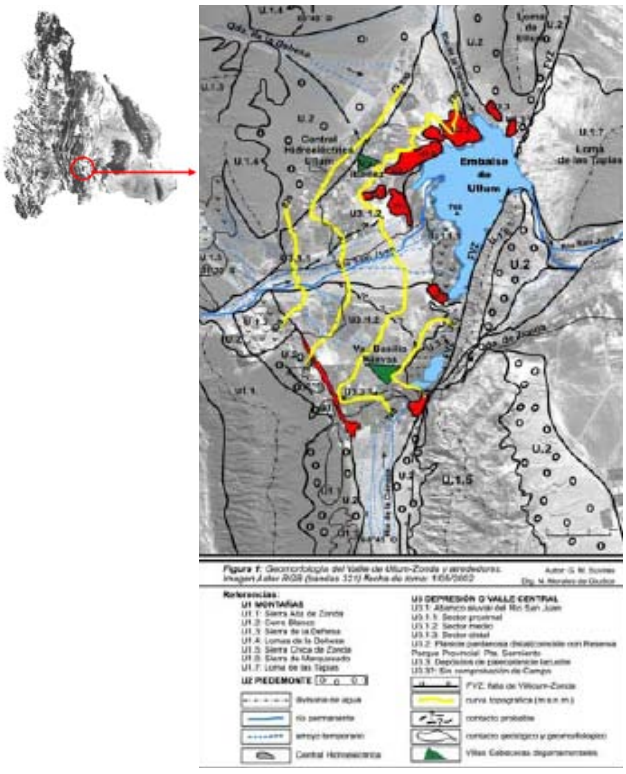


Figura 1: Ubicación de la zona de estudio y las unidades geomorfológicas del Valle de Zonda. (Adaptado de Suvires, 2008)

Características Fitogeográficas

El Área Natural protegida Presidente Sarmiento se ubica en el valle de Zonda, contenido dentro de la provincia fitogeográfica del Monte que se extiende por el oeste de la Argentina, desde el Valle de Santa María en Salta, por el centro de Catamarca y La Rioja, por el centro y este de San Juan y Mendoza, Neuquén, Río Negro, oeste de La Pampa para terminar en el nordeste de Chubut (Cabrera, 1994). Zonda está ubicado a una altitud promedio de 800 m.s.n.m., y es una región de clima árido, seco con una temperatura media anual de 18 ºC y una máxima media anual de 28 ºC y mínima media anual de 10 ºC, con las lluvias concentradas en verano con valores que oscilan entre 80 y 100 mm/año. Las especies vegetales tienen adaptaciones este régimen climático árido, como modificaciones en el tallo, ausencia de hojas o transformación de las mismas en espinas para evitar la pérdida de agua por evapotranspiración. La provincia fitogeográfica del Monte esta representada en gran parte de la provincia de San Juan por familias de Fabaceas, Zigofilaceas y Quenopodaceas, entre otras. El Área Natural Protegida Presidente Sarmiento, presenta características notables en cuanto a la vegetación, ya que posee en su superficie variada vegetación, que va desde especies nativas del Monte, especies exclusivas de humedales y bosques de Populus, Eucalitpus, Casuarina y Tamarix. Si bien no hay estudios científicos publicados, la ciénaga tendría una función de regulador de la temperatura y calidad del aire sobre la población local de Zonda. En el análisis y tratamiento del relevamiento de las comunidades vegetales se realizaron actividades de a) gabinete y b) de campo, consistentes en:

a) actividades de gabinete: mediante fotointerpretación a escala 1:20.000, se identificaron 7 sectores en el Parque Provincial Presidente Sarmiento, en base a la vegetación del lugar y a la consistencia del suelo (tabla 1). Se realizó un relevamiento de la información disponible sobre el régimen hídrico histórico, caudales del río San Juan, mapas topográficos, cartografía de suelo, curvas de igual profundidad de agua subterránea. Para tal fin, se analizó bibliografía actualizada e histórica de los temas anteriormente descriptos.

b) actividades de campo: se implementó un relevamiento de la vegetación de la zona de estudio Durante la primavera de 2009, teniendo en cuenta la fotointerpretación realizada anteriormente y la clasificación del área en distintos sitios. Algunas de las especies se clasificaron en el lugar, y se tomó una muestra de cada una de ellas. Las que no fueron clasificadas se llevaron al laboratorio para su clasificación. Asimismo en los distintos suelos se midieron, a la capacidad de campo, las consistencias en seco, húmedo y mojado (Etchevehere, P, 1976).

Rangos de susceptibilidad utilizados

La susceptibilidad o vulnerabilidad a los cambios ambientales del ANP se efectuó para cada uno de los sitios definidos como S, mediante dos parámetros criteriosamente seleccionados: a) la variación de los niveles del agua freática o próxima a la superficie y b) el efecto dinámico de la vegetación exótica. Estos dos factores son considerados como los controladores de la dinámica de este ecosistema, que impacta en la susceptibilidad a la modificación de los regímenes hídricos

de los suelos y a la introducción de especies exóticas, modificando la dinámica de estos ecosistemas naturales. Los rangos de valores utilizados arbitrariamente en este estudio se han establecido, para ambos parámetros (a y b) aumentando el grado de susceptibilidad en orden creciente, es decir desde el 1 al 5. La suma de las susceptibilidades por sitio dan valores en rangos que van desde: 10: Muy alta; 8-9: alta; 6-7: moderada; 4-5 baja y 1- 3 muy baja.

Resultados

El análisis bibliográfico de diferentes trabajos en la zona de estudio, proporcionó como resultado la comparación de mapas de diferentes años, como así también la variación de las isopiezas del ANP, sus alrededores y el efecto de la construcción de estructuras antrópicas que modificaron las condiciones subsuperficiales de la ciénaga de Zonda.

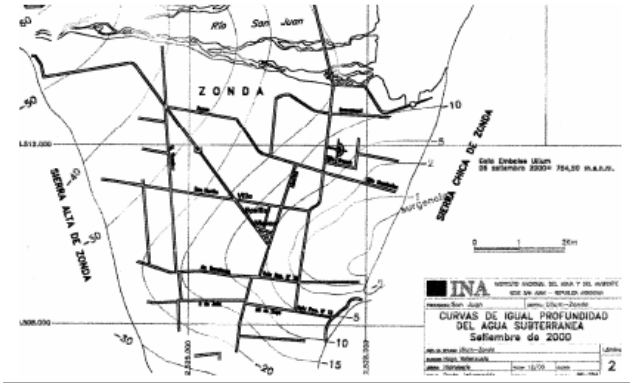
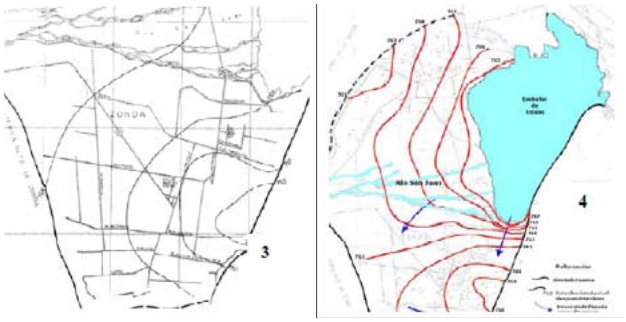
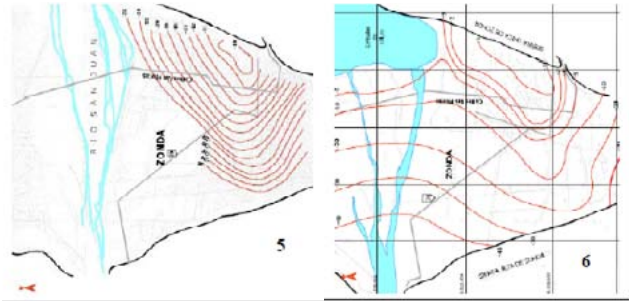


Figura 2: Curvas de igual profundidad de agua subterránea. Adaptado de INA, 2000.



Figuras 3 y 4: Isopiezas del valle de Zonda en Diciembre de 1981 antes del llenado del dique de Ullum, Adaptado de INA, 2000 e isopiezas de la zona de estudio luego de la construcción del dique. Adaptado de Gonzáles et al., 2004.



Figuras 5 y 6: Se muestra la variación de la profundidad del agua subterránea del ANP, antes de la construcción de la represa – embalse Ullum (5) y luego de la construcción del mismo (6). Adaptado de Gonzáles et al., 2004.

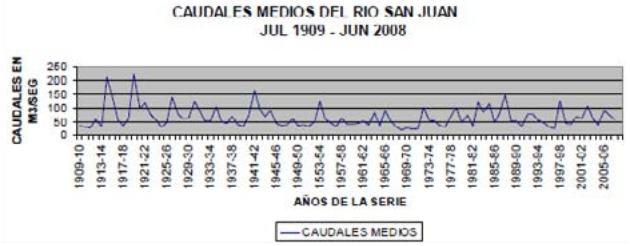


Figura 7: Caudales medios del río San Juan durante el período 1909-2008.

Sectorización del ANP

Unidad Geomorfológica	Tipo de vegetación Dominante	Consistencia del suelo	Identificación
Unidad Planicie Pantanosa Distal (U3.2)	Monte	Seco: Ligeramente duro	Sitio I
	Humedal	Mojado: adhesivo	Sitio II
	Transición entre monte y humedal	Húmedo: friable	Sitio III
	Bosque de Tamarindo	Seco: Blando	Sitio IV
	Bosque de Alamo	Seco: Blando	Sitio V
	Bosque de Casuarina	Seco: Ligeramente duro	Sitio VI
	Bosque de Eucalipto	Seco: Ligeramente duro	Sitio VII

Tabla 1: Sectorización del Área Natural Protegida y Parque Provincial Presidente Sarmiento teniendo en cuenta la vegetación dominante y la consistencia del suelo.

Relevamiento de la vegetación

En área estudiada se observaron especies vegetales que se ven diferenciadas en el ordenamiento en el territorio, donde se percibe que esta diferenciación de las especies puede llegar a responder a las condiciones del sustrato. Se encontraron 18 familias representativas de cada sitio del parque.

SITIO	FAMILIA	ESPECIE Y NOMBRE COMUN
I	Equisetáceas	*Equisentum giganteum (cola de caballo)*
II	Tifáceas	*Typha dominguensis (totora)*
I Y II	Gramineae o Poaceae	*Phragmites australis (carrizo)* *Muhlembergia aspirifolia (pasto tul)* *Paspalum dilatatum (pasto miel)* *Cynodon dactylon (chepica)*
II	Ciperáceas	*Scirpus californicus (junco)*
II	Juncáceas	*Juncus aff. acutus (junco)* *Juncus spp. (junco)*
III	Salicáceas	*Salix humboldtiana (sauce criollo)*
II	Quenopodáceas	*Atriplex aff. deserticola (zampa)* *Atriplex aff. Crenatifolia (zampa crespa)*
II	Ranunculáceas	*Clematis montevidensis (barba de viejo)*
I	Fabaceas	*Prosopis strombulifera (retortuño)* *Prosopis chilensis (algarrobo blanco)* *Prosopis flexuosa (algarrobo negro o dulce)* *Acacia aroma (tusca)* *Geoffroea decorticans (chañar)* *Medicago sativa (alfalfa)* *Melilotus albus (trebol blanco)*
I	Zigofiláceas	*Larrea divaricata (jarilla hembra)*
I	Malváceas	*Sphareolcea miniata (malvisco)* *Marbella leprosa*
IV	Tamaricáceas	*Tamarix gallica (tamarindo)*
VII	Mirtáceas	*Eucaliptus sp. (eucaliptos)*
II	Umbelíferas	*Hydrocotile bonaerensis (redondita de agua)*
I	Solanáceas	*Solanum elaeagnifolium (quillo)* *Lycium tenispinosum* *Grabowskia obtusa*
III	Compuestas	*Tessaria absinthioides (pájaro bobo)* *Baccharis salicifolia (chilca)* *Wedelia glauca (clavel amarillo)* *Solidago chilensis (penacho o vara amarilla)* *Senecio subulatus (romerillo)* *Mikamia mendocina Phil* *Crisium vulgare (cardo)*
VI	Casuarinacea	*Casuarina cunninghamiana*
V	Salicaceae	*Populus spp.*

Tabla 2: Vegetación relevada en sitios de la reserva ANP Parque Presidente Sarmiento.

Del análisis de la fotointerpretación y la sectorización del ANP, junto con el relevamiento de la vegetación y el apoyo de campo, se realizó un mapa discriminando cada uno de los sitios, su distribución espacial y el contacto con los otros sitios.

Figura 8: Parque Provincial y Área Natural Protegida Presidente Sarmiento, 720 has. (A), lagunas permanentes de límites no establecidos (B), se indican los sitios respectivos (ver tabla 1).

Discusión

El paisaje es considerado como un conjunto de factores ya sean físicos, socioeconómicos o biológicos (Forman & Godron 1986; O.Neill et al. 1988; Collado & Dellafiore 2003), dentro de este último, la diversidad vegetal juega un papel importante en ecosistemas como estos humedales debido a la productividad elevada que poseen, la capacidad de renovación y la posibilidad de explotar sus recursos. Esto somete a los humedales nuevos disturbios dejando secuelas en el funcionamiento del ecosistema, pero en la actualidad existe un interés particular en la conservación de los humedales debido a que el impacto sostenido históricamente sobre los mismos ha causado grandes pérdidas de biodiversidad (Bedford et al. 2001, Abell 2002, Brinsson & Malvárez 2002).

La heterogeneidad espacial de la vegetación y las condiciones ambientales es una de las principales características de las zonas áridas y semiáridas (Schlesinger y Pilmanis, 1998), en esta región central de la provincia fitogeográfica del Monte, dominada por sierras, quebradas, valles o depresiones intermontanas, piedemontes, la geomorfología es una herramienta muy útil al momento de sectorizar y determinar áreas de influencias, o conocer como interactúan diferentes factores físicos sobre un ecosistema dado en donde la vegetación varía desde la perspectiva de diferentes escalas espaciales, desde escalas regionales hasta de micrositio (Bertiller et al., 2009; Bisigato et al., 2009).

Es conocido que la utilización de la diversidad vegetal específica como indicador de las condiciones de un ecosistema o comunidad, es un parámetro más a tener en cuenta al medir el impacto de un factor determinado sobre el ecosistema; asimismo es un indicador de las oportunidades de desarrollo que tiene cada ser vivo dentro de un área (Estevan Bolea, 1984). Es tan importante el estudio de las diversidades biológicas que Magurran (1989) expresó que el estudio de esta diversidad frecuentemente aparece como un indicador del buen funcionamiento de los ecosistemas, hay que enfatizar que cada ecosistema acuático, posee características propias que los diferencian uno de otros, en cuanto a diversidad y funcionamiento ecosistémico ya que en las últimas décadas los humedales están siendo revalorizados, especialmente como núcleos de biodiversidad y reguladores hidrológicos (Malvárez, 1999).

Las especies vegetales exóticas juegan un papel importante en el mantenimiento de la biodiversidad de los humedales. El efecto del Tamarindo (Tamarix gallica, Tamaricacea) sobre las especies nativas del lugar, es muy importante a tener en cuenta ya que el impacto más significativo de este árbol es su alto consumo de agua y la evapotranspiración, que puede afectar a la disponibilidad de agua subterránea, además de ser muy adaptable al medio en el cual se sitúa que ocupa nichos de las especies nativas que le dan la identificación particular al ANP. Los factores climáticos en la provincia fitogeográfica del Monte, están sujetos a variaciones particulares en el clima a nivel local, como la temperatura y precipitación (Labraga y Villalba, 2009) entre otros, regulando las precipitaciones nivales en cordillera, con lo que a su vez, depende el caudal del río San Juan y coincidentemente, la recarga subterránea del acuífero de Zonda del cual pende la humedad del estero.

Conclusiones

Nacen de este trabajo algunos aspectos principales sobre el humedal de Zonda en la provincia de San Juan, en relación a las variables hidrológicas y biológicas como la invasión de especies nativas. Así surge el siguiente cuadro de susceptibilidad de los sectores del ANP Presidente Sarmiento.

Área Natural Protegida Presidente Sarmiento (Unidad 3.2)	Sitio	Susceptibilidad		Total (a + b)	Clasificación
		Variación del nivel freático (a)	Avance de especies vegetales exóticas (b)		
	I	4	4	8	Alta
	II	5	4	9	Alta
	III	5	5	10	Muy Alta
	IV	2	2	4	Baja
	V	3	3	6	Moderada
	VI	3	3	6	Moderada
	VII	2	3	5	Baja

Tabla 3: susceptibilidad de ANP: grados de susceptibilidad en orden creciente 1 (menor) a 5 (mayor); Rangos totales valores de 10: Muy alta; 8-9: alta; 6-7: moderada; 4-5 baja y 1-3 muy baja.

De este trabajo se desprende que el sitio IIII es el de mayor susceptibilidad y que contiene componentes de vegetación de los sitios que la rodean (I y II), y es muy susceptible a la invasión de una especie exótica como el Tamarindo y a la variación de la humedad del suelo, Los sitios I y II poseen una susceptibilidad alta, el II mayormente a la variación de agua subterránea ya sea por la disminución del caudal de río San Juan que posee una variación natural a lo largo de los años, o por el aumento o disminución del agua del dique de Ullum. Mientras que el sitio I es donde las especies exóticas juegan un papel importante ya que, con lo observado en el campo, el tamarindo está produciendo un efecto de corrimiento sobre las especies nativas del monte que pertenecen al ANP.

Con respecto a los bosques de Tamarindo, Álamos y Eucaliptos, si bien la susceptibilidad es baja, hay que generar un estudio mas detallado del comportamiento de los mismos en cuanto al estado, dinámica de la población. No obstante se deberían establecer los usos potenciales que tienen para poder hacer uso, ya sea por la comunidad local u otro ente, con fines económicos de subsistencia.

El poder clasificar un área en diferentes sectores y poder asignarles un valor de susceptibilidad basado en el análisis de factores como la hidrología y la vegetación, es de gran utilidad al momento de confeccionar un plan de manejo sustentable, que actualmente se está iniciando en el ANP.

De este trabajo se desprende, la necesidad de conocer más profundamente la interacción de los diferentes factores y los aspectos espaciales de patrones y procesos que interactúan a diferentes escalas para comprender la dinámica espaciotemporal del Área Natural Protegida y Parque Provincial Presidente Sarmiento.

Agradecimientos

A Laura Ocampo por su ayuda en campo y clasificación de plantas, y al grupo del gabinete de Geología Ambiental por el aporte diario de sugerencias que ayudaron a la elaboración de este trabajo.

Bibliografía

- Abell R. (2002). Conservation biology for the biodiversity crisis: a freshwater follow-up. Conservation Biology 16: 1435-1437.
- Bedford B. L., M. R. Walbridge & A. Aldous (2001) Wetland ecosystems. En: Levin SA (ed) Encyclopedia of biodiversity. Volume V: 781-804. Academic Press, Orlando, Florida, USA.
- Bertiller M.B., L. Marone, R. Baldi, J.O. Ares. 2009. Biological interactions at different spatial scales in the Monte desert of Argentina Journal of Arid Environments 73: 212–221
- Bisigato A.j., P.E. Villagra, J.o. Ares and B.E. Rossi. 2009. egetation heterogeneity in Monte Desert ecosistems: A multi-scale approach linking patterns and processes. Journal of Arid Environments 73 182–191
- Brinson M. M & I Malvarez (2002) Temperate freshwater wetlands: types, status, and threats. Environmental Conservation 29: 115-133.
- Carruthers,R. I.y Deloach, C. J. (2004). Progress on the biological control of tamarisk. Cal-IPC News. Berkeley, CA: California Invasive Plant Council (Cal-IPC) www.calipc.org/resources/news/pdf/cal%1Eipc_news5111.pdf
- Collado, D. y C. M. Dellafiore. 2003. Influencia de la Fragmentación del paisaje sobre la población Del Venado De Las Pampas en el Sur de la Provincia de San Luis. Revista Inta. Argentina. 17 pp.
- Colombo, F., Busquets, P., Ramos, E., Vergés, J. y Ragona, D, 2000. Quaternary alluvial terraces in an active tectonic region: the San Juan River Valley, Andean Ranges, San Juan Province, Argentina. Journal of south American Earth Sciences, 13: 611-626. Elsevier. Pergamon.
- Colombo, F., Limarino, C., Busquets, P., Solé de Porta, N., Heredia, N., Rodriguez Fernandez, R. y Alvarez Marron, J, 2005. Primeras edades absolutas de los depósitos lacustres holocenos Del rio Jáchal, Precordillera de San Juan. Revista de La Asociación Geológica Argentina, 60 (3): 605-608. Buenos Aires.
- Davis, T., Blasco, D. y Carbonell M.. 1996. Manual de la Convención Ramsar. Una guía para la convención sobre los humedales de importancia internacional. Gland: Oficina de la Convención Ramsar
- Dugan, P. J (ed). 1992. Conservación de Humedales. Un análisis de temas de actualidad y acciones necesarias. UICN. Gland. Suiza. 100pp
- Estevan Bolea, M.T. 1984. Evaluación del impacto ambiental. Madrid: Fund. MAPFRE. 609p.
- Etcheveherre, P, 1976. Normas de reconocimientos de suelos. Libro, pp: 1-115. INTA- Castelar.
- Forman, R & M Gordon. 1986. Landscape Ecology. John Wiley. New York, USA.

- Gonzáles. 2001. Bases para la conservación de los humedales de la costa de Toltén (IX
- Región). Informe Final Proyecto DIUCT N° 99-4- 04. Dirección de Investigación, Universidad Católica de Temuco. 56 pp + anexos
- Groeber P. and A. Tapia, 1926. Sobre las condiciones geológicas reinantes en la región del proyectado dique de la quebrada de Ullum (provincia de San Juan). Dirección General de Minería, Geología e Hidrogeología. Pub. 25/26. Buenos Aires.
- Hauentien, E., A. Muñoz-Pedreros, F. Peña & M. González. 2001. Bases para la conservación de los humedales de la costa de Toltén (IX Región). Informe Final Proyecto DIUCT N° 99-4- 04. Dirección de Investigación, Universidad Católica de Temuco. 56 pp + anexos
- Kusler J.A., W.J. Mitsch & J.S. Larson. 1994. Humedales. Investigación y Ciencia 210: 6-13
- Labraga J.C., R. Villalba. 2009. Climate in the Monte Desert: Past trends, present conditions, and future projections Journal of Arid Environments 73:154–163
- Magurrán, A. E. 1989. Diversidad ecológica y su medición. Barcelona: Vedra. 200 p.
- O.Neill, R; J Krumel; R Gardner; G Sugihara; B Jackson. 1988. Indices of Landscape Pattern. Landscape Ecol., 1(3):153-162.
- Ortiz, A. y Zambrano, J. J., 1981. La provincia geológica Precordillera Oriental. VIII Congreso Geológico Argentino. Actas III, San Luis, Argentina.
- Pandolfo, L.E. 1975. Geología del valle Ullum-Zonda, provincia de San Juan. Trab. Fin. Lic. Univ. Buenos Aires. Unpublished. Buenos Aires.
- Ramirez, C., R. Godoy, D. Contreras y E. Stegmaier. 1982. Guía de plantas acuáticas y palustres valdivianas. Instituto de Botánica, Facultad de Ciencias, Universidad Austral de Chile. 42 pp.
- Ramos, V. and Vujovich G., 2000. Hoja Geológica 3169 IV. San Juan. Programa Nacional de Cartas Geológicas de la República Argentina 1: 250.000. Buenos Aires
- Rocca, J. A., 1969. Geología de los valles de Tulum y Ullum-Zonda. Provincia de San Juan.
- PASNOA. p 1-210, Tomos 1 y 2. CRAS. San Juan. Argentina.
- Rodriguez, J.A., Fiorenza, C., Damiani, O. y Zambrano, J.J., 2002. Aspectos hidrogeológicos. Guía de excursiones en las provincias de Mendoza y San Juan. Argentina. INA-CRAS. Adhesión al 32 y 6 ALSHUD Congreso Aguas subterráneas y desarrollo humano. Mar del Plata.
- San Martín, C., C. Ramirez y P. Ojeda. 1999. Distribución de macrófitos y patrones de zonación ribereña en la cuenca del río Valdivia, Chile. Revista Geográfica de Valparaíso 29-30: 117-126.
- Schnack, J. A. 2001. Ecosistemas de Humedales. Aspectos históricos, conceptuales y de manejo. Anales Acad. Nac. Agron. Veter. 55: 147-161.
- Serafini, R., Bustos, N., Contreras, V., 1986. Geología de la Formación Lomas de Las Tapias (nov. nom.), quebrada de Ullum. Provincia de San Juan. Primeras Jornadas Geología sobre Precordillera. I 77-82, San Juan.
- Suvires, G. y Contreras, V.H., 2008. Late Cenozoic geomorphology and Geology of Loma de Las Tapias, San Juan Province, western part of Argentina. Capítulo en Libro "Cenozoic Geology of the Central Andes of Argentina". In pres, pp: 1-14. Salta. Instituto del Cenozoico.
- Suvires, G., 1985. Paleocauces y terrazas pleistocenos del río San Juan en un tramo de 5 km al ese de la qda. De Zonda, Provincia de San Juan. Actas de las Primeras Jornadas sobre Geología de Precordillera. T1:354-359. San Juan.
- Suvires, G., 2004. Procesos de piping en el piedemonte distal de la Precordillera Oriental, provincia de San Juan: factores y relieve. Revista de la Asociación Geológica Argentina. 59 (3): 385-393.
- Suvires, G. 2009. Unidades geomorfológicas del río San Juan en el sector ubicado al sur del río San Juan, valle de Zonda. IV Congreso Argentino de Cuaternario y Geomorfología. La Plata. Octubre. Publicado en CD.
- Zambrano, J. J., 1985. Actualización geológica del valle de Zonda. Informe Instituto Nacional de aguas subterráneas. San Juan, pp: 1- 120.

DISTRIBUCIÓN DEL RECURSO FLORA, SU CONDICIÓN E IMPLICANCIAS PARA EL MANEJO SUSTENTABLE DEL VALLE DE ZONDA, SAN JUAN

Daniel Germán Flores

Gabinete de Geología Ambiental, Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, Universidad Nacional de San Juan. Av. Ignacio de la Roza y Meglioli, Rivadavia, San Juan, CP 5400, tel.: 0264-4234129 Int. 146. dflores@unsj-cuim.edu.ar

Palabras Claves

- factores ambientales
- barrera agrícola
- vegetación
- unidades geomorfológicas

Resumen

Como consecuencia del avance de la barrera agrícola la presencia de especies vegetales nativas está, en su mayoría, relegadas a los piedemontes que marginan al valle de Zonda, en San Juan. No resulta posible manejar sustentablemente un área determinada sin un conocimiento general de la zona, de sus diversos recursos y usos de la tierra. Se analizaron las unidades geomorfológicas (UG) del valle, previa revisión del material cartográfico, fotográfico y bibliográfico disponible y se recorrieron a pie transectos lineales por las mismas, con el fin de relevar aspectos florísticos y estructurales generales, como así también evidencias de degradación por la intervención humana de este recurso. Los resultados muestran al valle de Zonda sectorizado en 6 unidades geomorfológicas con un total de 33 especies vegetales distribuidas entre ellas. El análisis de la información histórica y fotográfica muestra que la barrera agrícola avanzó 1371 ha aproximadamente y la población tiene una tasa de crecimiento del 71% cada diez años. El Sitio 1 (Piedemonte sierra Chica de Zonda), el más alejado de la villa cabecera departamental, fue el que mas especies vegetales se observó (18) y los sitios 5 y 6 son en los que menos especies se relevaron (7 y 6 especies respectivamente). El crecimiento de la población juntamente con el avance de la barrera agrícola son las principales amenazas para la heterogeneidad de la vegetación del valle de Zonda.

Introducción

El valle de Zonda se caracteriza por poseer una riqueza y diversidad florística relacionada con factores como hidrología y geología, entre otros, que interactúan en una manera dinámica a diferentes escalas (Flores, 2008), además se identifica por poseer muy buenas condiciones edáficas e hidrológicas para el desarrollo de diferentes tipos de cultivos como la vid, frutales y olivo (Departamento de Hidráulica, 2006).
Estas actividades van produciendo un avance importante de la barrera agrícola provovando que las especies nativas de plantas estén, en su mayoría, relegadas a los piedemontes de las sierras que marginan al valle y al Área Natural Protegida y Parque Provincial Presidente Sarmiento, un humedal único en la provincia por su alimentación hidrológica subterránea y cuya localización se encuentra a 200 metros de la villa cabecera del valle.

Cabe destacar que la heterogeneidad de los factores ambientales y la vegetación constituye una de las principales características de las zonas áridas, y a nivel de paisaje, las comunidades de plantas están distribuidas de acuerdo a diferencias climáticas, edáficas y topográficas entre distintos sitios (Bisigato et al., 2008), a las que hay que sumarle el factor humano como un agente activo en la dinámica de los ecosistemas.

Matteuchi y Colma, 1982, mencionan que las comunidades vegetales son el resultado de la acción conjunta e integrada de los factores ambientales actuando como indicadora de las características ecológica del área. Por este motivo al evaluar los elementos vegetales de la zona hay que conocer los factores ambientales, climáticos y sociales que dominan el área de estudio.

La cobertura y disposición espacial de las manchas de vegetación perenne puede proporcionar información valiosa sobre el funcionamiento del paisaje, teniendo en cuenta que una excesiva presión sobre el mismo puede ir en detrimento de la capacidad de la vegetación para actuar como sumidero de recursos, de manera que el paisaje en su conjunto tendría más salidas o pérdidas de nutrientes (Tongway and Hindley, 2004 a y b).

Los factores abióticos como diferencias en la topografía, hidrología, geología y lluvias son altamente responsables de la heterogeneidad del paisaje a escala regional, los procesos

bióticos de las interacciones planta-planta son importantes a escala de micrositio (Reynolds and Wu, 1999).

Teniendo en cuenta que la heterogeneidad de la vegetación a escala de paisaje es mayormente controlada por factores geomorfológicos, edáficos y la disponibilidad de agua (Morello 1958, Rundell et al., 2007), sumado a ello, en la parte del Monte Central en donde se ubica el valle, la cobertura de plantas rara vez supera los 20% (Cabrera, 1994; Bisigato et al., 2008).

En esta región de estudio propuesta no se conoce la existencia de un relevamiento de flora asociado a la geomorfología y combinado con el avance de la barrera agrícola de la región resaltando que estas tareas de investigación básica orientada se consideran de gran importancia y necesaria para el área de estudio propuesta dado que la misma posee un crecimiento acelerado fundamentalmente agrícola y en menor medida ganaderoforestal y, en consecuencia, un gran impacto antrópico en los recursos naturales de la región, sin que existan legislaciones o normativas directrices para un desarrollo sostenido y para la protección y conservación de la biodiversidad.

No resulta posible manejar sustentablemente un área determinada sin un conocimiento general de la zona, de sus diversos recursos y usos de la tierra, como también de las características cuali-cuantitativas de la estructura y dinámica de los recursos naturales. El manejo sitio-específico se fundamenta en la capacidad de reconocer niveles de heterogeneidad dentro del área de estudio y adecuar las recomendaciones agronómicas a cada unidad reconocida (Booltink et al., 2001).

En base a lo visto anteriormente, el objetivo de este trabajo es realizar un relevamiento de la vegetación conjuntamente con las unidades geomorfológicas presentes en el valle de Zonda y analizar estos factores en su relación con el crecimiento urbano, suburbano y el avance de la barrera agrícola de la zona, para proveer herramientas necesarias para la toma de decisiones en Planes de Manejo y Ordenamiento territorial.

Material y Método

Caracterización del área de estudio

El valle de Zonda, ubicado al sur del río San Juan, entre los 68º 47´ y los 31º 30´ (figura 1), entre los 820 y los 760 m.s.n.m., debe ser considerado en forma conjunta con el sector existente al norte del citado río, denominado Valle de Ullúm (Suvires y Contreras, 2008). Ambos conforman el valle de Ullum-Zonda (UZ). La región es una depresión tectónica con un aluvión cuaternario que sobrepasa los 500 m. de profundidad, limitada por los cordones de Precordillera Central al oeste y Precordillera Oriental al este (Ortiz y Zambrano, 1981). La región es afectada por numerosos procesos aluvionales ahocicados a causas climáticas, gravitacional, fluvial, sísmico y otros de naturaleza pseudocárstica, que se han observado en previas recorridas de campo. En su interior se desarrolla un extenso abanico aluvial depositado por el río San Juan el que contiene un excelente acuífero subterráneo. Esta cuenca tiene una superficie de 125 Km2, y está rellena con un depósito de sedimentos aluvionales, principalmente gruesos y permeables, transportados y depositados por el río durante el último Período Geológico, llamado Cuaternario (desde 1.6 ma AP), cuya dinámica continúa en la actualidad.

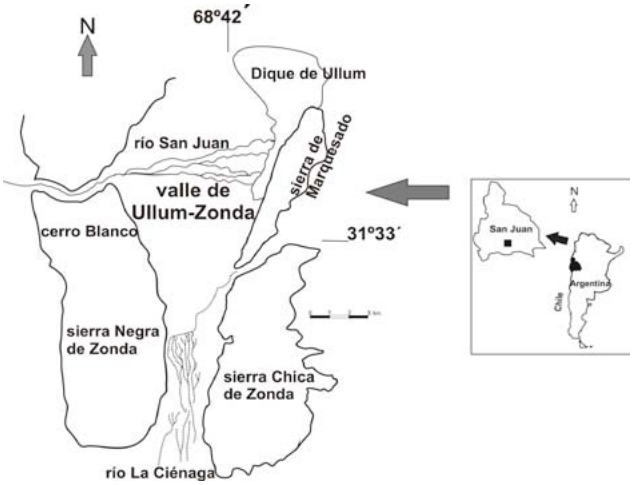


Figura 1: Ubicación de la zona de estudio. El valle de Ullum – Zonda es una depresión tectónica de precordillera en la provincia de San Juan, Argentina.

Fitogeografía

El valle de Zonda se encuentra enmarcado dentro de la provincia fitogeográfica del Monte que se extiende por el oeste de la Argentina (Morello, 1958; Cabrera, 1974), es una región de clima árido, seco con una temperatura media anual de 18 ºc y una máxima media anual de 28 ºc y mínima media anual de 10 ºC, con las lluvias concentradas en verano con un valores que oscilan entre 80 y 100 mm/año. Esto produce que la vegetación se caracterice por sus adaptaciones al estrés hídrico, que van desde la disminución de la superficie foliar, creación de sistemas de acumulación de agua y la transformación de los tallos y hojas en espinas, entre otras.

Trabajo de Gabinete

Se sectorizó geomorfológicamente el valle de Zonda mediante el análisis de productos de sensores remotos, jerarquizando y clasificando las unidades del relieve que componen el área de estudio, se hizo un relevamiento de la bibliografía disponible sobre el desarrollo agrícola de la región en la última década.

Observaciones de campo

Las observaciones fueron llevadas a cabo en cada unidad geomorfológica (UG), previa revisión del material cartográfico, fotográfico y bibliográfico disponible. Una vez decidido el área y

la logística necesarias para el acceso a las principales unidades de vegetación de cada UG, se recorrieron en primer el lugar mas alejado del valle hasta el último lugar en el valle propiamente dicho. Se recorrieron a pie transectos por las UG, con el fin de observar aspectos florísticos y estructurales generales, y evidencias de intervención o degradación. La vegetación fue clasificada en el lugar de observación y en laboratorio.

Resultados

El análisis de las imágenes satelitales y fotografías aéreas, permitió la proyectar y zonificar el área de estudio, con lo cual se obtuvieron seis Unidades Geomorfológicas (UG) con su ubicación correspondiente y la distancia promedio desde los puntos de muestreos a la villa cabecera departamental Basilio Nievas (Tabla 1).

Sitio	Unidad Geomorfológica (UG)	Distancia a villa cabecera departamental (m)	Ubicación punto central de muestreo	Altura m.s.n.m.
1	Piedemonte de la sierra Chica de Zonda	8900	31°37'33.66"S 68°43'49.84"O	1003
2	Planicie de inundación del río La Ciénaga	6345	31°36'23.84"S 68°44'34.01"O	890
3	Piedemonte de la sierra Negra de Zonda	3727	31°33'41.21"S 68°45'46.71"O	835
4	Piedemonte del Cerro Blanco de Zonda	5218	31°31'35.30"S 68°46'44.65"O	865
5	Piedemonte de la sierra de Marquezado	4550	31°31'30.21"S 68°41'24.31"O	815
6	Planicie aluvial del río San Juan	650	31°32'46.90"S 68°43'15.34"O	805

Tabla 1: Zonificación del área de estudio.

Especie	Sitio					
	1	2	3	4	5	6
1. *Acacia aroma*			*			*
2. *Acacia furcatispina*		*				
3. *Alliona encarnata*	*					
4. *Alternantera nodifera*	*					
5. *Aristida spp.*	*	*	*	*		
6. *Atriplex crenatifolia*				*	*	
7. *Atriplex lampa*	*			*		
8. *Bulnesia retama*	*	*	*	*	*	
9. *Capparis atamisquea*			*	*		
10. *Cercidium praecox*	*	*				
11. *Ciclolepis genistoides*						*
12. *Condalia microphylla*				*		
13. *Deuterocohnia longipetala*	*			*		
14. *Echinopsis leucantha*	*	*	*	*	*	
15. *Geoffroea decorticans*			*	*		
16. *Larrea cuneifolia*	*	*	*	*	*	
17. *Larrea divaricata*	*	*	*			*
18. *Lycium chilense*						*
19. *Ligaria cuneifolia*		*				
20. *Mimosa ephedroides*	*					
21. *Monttea aphylla*	*			*		
22. *Opuntia sulphurea*	*	*	*	*	*	
23. *Pappophorum caespitosum*	*					
24. *Prosopis chilensis*			*			
25. *Prosopis flexuosa*	*			*		*
26. *Psyla retamoide*	*					
27. *Schinus fasciculata*						*
28. *Solanum eleagnifolium*			*			*
29. *Sphaeralcea miniata*						*
30. *Suaeda divaricata*					*	
31. *Tephrocactus spp.*	*	*	*	*	*	
32. *Tessaria absinthioides*				*		
33. *Zucagnia punctata*	*			*		
TOTAL DE ESPECIES	18	10	12	16	7	8

Tabla 2: especies de plantas relevadas presentes en el valle de Zonda.

La vegetación presente en los lugares de observación se caracterizó por 33 especies las cuales son representativas de la provincia fitogeográfica del Monte.

El análisis de la bibliografía y de las imágenes satelitales indica que la superficie del valle de Zonda se ha incrementado en la última década 1317has

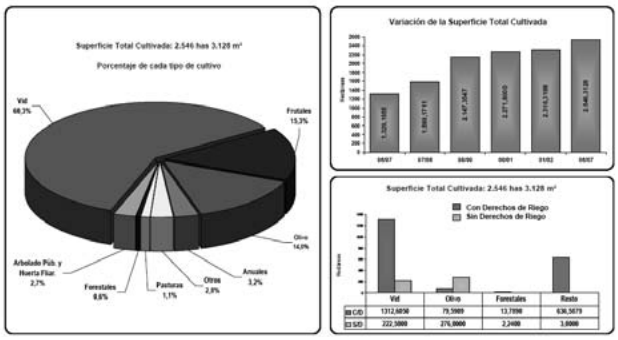


Figura 2: Superficie cultivada del valle de Zonda en una década.

El crecimiento poblacional de Zonda ha avanzado con una tasa del 71 % en los últimos 10 años aproximadamente, así, para el año 1991 la población del departamento era de 2905 habitantes con una densidad de población de 1.2 hab./ km2 , en 2001, la población aumentó a 4038 habitantes y la densidad de población subió a 1.7 hab./km2. Se estima que para el 2011 la población superará los 6000 habitantes, que demandarán recursos esenciales como vivienda, terrenos y agua para subsistencia, entre otros.

Cabe destacar que la población de Zonda no posee una red colectora de desechos orgánicos de la población (tabla 3) poseyendo nada mas que pozos negros que podrían estar contaminando el agua subterránea que se encuentra a poca profundidad.

Hogares según servicio sanitario de la vivienda (fuente: Ministerio del Interior)

Servicio sanitario	% hogares
Inodoro c/ desc. de agua y desagüe a red pública	0,00%
Inodoro c/ desc. de agua y desagüe a cámara séptica y pozo	48,42%
Inodoro c/ desc. de agua y desagüe a pozo ciego u hoyo, etc.	28,54%
Inodoro sin descarga de agua o sin inodoro	23,04%

Tabla 3: servicios sanitarios de la población de Zonda. (Ministerio del Interior).

Discusión

Como en muchos ecosistemas del país y de la región, el valle de Zonda tiene un potencial agronómico en crecimiento, en donde la población actual se basa económicamente en la producción agrícola, esto concuerda con Vilela et al., 2009, en donde afirman que la economía del desierto del Monte se basa actualmente en la producción de cultivos exóticos de origen

mediterráneo, como uvas, las aceitunas, ciruelas y nueces. Fiorentino, 2005, también hace mención que después de siglos de un uso muy intensivo de los recursos naturales, las plantas nativas se encuentran en diferentes las etapas de degradación, disminución de poblaciones, con lo cual está relegada a los piedemontes de las sierras aledañas.

Si bien la heterogeneidad de la vegetación a escala de paisaje es mayormente controlada por factores abióticos como la geomorfología, suelos y agua (Morello, 1958; Rundell et al., 2007), el efecto producido por la agricultura afectaría el ecosistema a diferentes escalas, desde el paisaje, con la modificación de regimenes hídricos de los cauces temporales y permanentes, hasta escalas de parche, introduciendo nuevas especies como es el ejemplo del tamarindo (Tamarix gallica), entre otras que, en el caso del valle de Zonda al ser mas eficientes que las nativas, está produciendo el desplazamiento de las especies propias de la zona, teniendo como principal lugar de acción el Parque Provincial Presidente Sarmiento.

La heterogeneidad de las propiedades del suelo se han atribuido a la distribución heterogénea de la vegetación que incrementa las áreas de toma de nutrientes y son depósitos de residuos orgánicos para el suelo (Prescott, 2002; Rietkerk et al., 2004; Rotundo and Aguiar, 2005), la pérdida de la diversidad vegetal Zonda, ayudaría a incrementar los procesos de desertificación en el lugar, ya que la degradación del suelo se define como la "reducción o pérdida de la productividad biológica, entre otras (Naciones Unidas, 1994).

Se coincide con Villagra et al.,2009, cuando afirman que hay que desarrollar estrategias generales que superen los procesos de desertificación, estas, deben considerar el potencial biológico de los ecosistemas, la respuesta a procesos ecosistémicos de regimenes de perturbaciones y la importancia de la diversidad del paisaje y la heterogeneidad ambiental en el manejo de recursos Naturales.

Conclusiones

El Sitio 1 (Piedemonte sierra Chica de Zonda), el más alejado de la villa cabecera departamental, fue el que mas especies vegetales se observó (18) y el sitio 5 (piedemonte de la sierra de Marquesado) es en el que menos especies se observaron juntamente con el sitio 6 (depresión tectónica central Ullum-Zonda) y el mas cercano a la villa cabecera (7 y 6 especies respectivamente), con lo crecimiento de la población juntamente con el avance de la barrera agrícola son las principales amenazas para la heterogeneidad de la vegetación del valle de Zonda, debido a la necesidad de vivienda, la mano de obra en la agricultura y en actividades satélites vinculadas a esta actividad y la utilización del recurso agua.

La vegetación nativa del valle de Zonda esta confinada a las unidades a los piedemontes que rodean al mismo, quedando solo relictos de la misma en cerca del la villa cabecera en donde se encuentran los diferimientos agrícolas mas importantes.

El estado de la vegetación de Zonda necesita ser evaluada en su composición, estructura y dinámica con más profundidad, para aumentar el conocimiento de este factor en este ecosistema intraprecordillerano y establecer herramientas fundamentales para mejorar la productividad tanto de la vegetación nativa como de los sistemas agrícolas de los cuales depende la población local, y encontrar así un equilibrio entre estas actividades y lograr un manejo integrado del lugar, y desterrar fantasmas como la desertificación.

Bibliografía

- Bisigato, A.; Villagra, P.E., Ares, J.; Rossi, B.E., 2008. Vegetation heterogeneity in Monte Desert ecosystems: a multi-scale approach linking patterns and processes. Journal of Arid Environments, this issue, doi:10.1016/j. jaridenv.2008. 09.001.
- Blaikie, P., & Brookfield, H., 1987. Land degradation and society. London: Longman. Prescott, C.E., 2002. The influence of the forest canopy on nutrient cycling. Tree Physiology 22, 1193–1200.
- Booltink, H.W.G.; Van Alphen B.J.; Batchelor W.D., Paz J.O.; Stoorvogel J.J. & Vargas R., 2001. Tools for optimizing management of spatially-variable fields, Agricultural Systems 70: 445-476.
- Cabrera, A.L., 1994. Regiones Fitogeográficas Argentinas. Enciclopedia Argentina de Agricultura y Jardinería. Tomo II. Editorial ACME S.A.C.I. Regiones Fitogeográficas Argentinas. En: W.F. Kugler (Ed.).
- Cruz A.G., 1999. Productionand Characterization of Prosopis SeedGalactomannan. Ph.D. Dissertation. Swiss Federal Institute of Technology, Zurich, 113 pp.
- Del Valle, F.; Marco, E.; Becker, R.; Saunders, R., 1988. Evaluation o fan industrial process for producing protein enriched mesquite pod (Prosopis species) flour. Journal of Food Processing and Preservation 12, 179–185.
- Departamento de Hidráulica. Gobierno de San Juan. 2007. Relevamiento agrícola de la provincia de San Juan períodos 2006-2007 www.hidraulica.sanjuan.gov.ar.
- Fiorentino, R., 2005. La agricultura irrigada en Argentina y su contribución al desarrollo de las economías regionales. Documento del Banco Mundial. <http:// www.rimisp.cl
- Flores, D., 2008. Caracterización biológica del valle de Zonda. En: Zonda: un oasis para soñar. Archivo General de la Provincia de San Juan. Gobierno de San Juan. 145 pág.

- Kalman, D., 2000. Variabilidad interespecífica e interpoblacional en el contenido de goma en frutos de Prosopis L. (Mimosaceae) y su relación con el ataque de insectos. Tesis Para Optar al Título de Ingeniero Agrónomo de la Universidad de Buenos Aires. 52 pp.
- Matteuchi, S.D.; Colma, A., 1982. Metodología para el estudio de la vegetación. Washington: Secretaría Gral. de la OEA – Programa Regional de Desarrollo Científico y Tecnológico. 169 p.
- Morello, J., 1958. La provincia fitogeográfica del monte. Opera Lilloana. Nº 2. Tucumán (Argentina). Fundación Miguel Lillo. 1958. 155 p.
- Ortiz, A. y Zambrano, J. J., 1981. La provincia geológica Precordillera Oriental. VIII Congreso Geológico Argentino. Actas III, San Luis, Argentina.
- Pinto, M., Riveros, E., 1984. Variation in fruit production and quality of different ecotypes of Chilean algarrobo Prosopis chilensis (Mol.) Stunz. In: Wickens, Haq, Day (Eds.), New Crops for Food and Industry. Chapman & Hall, London, pp. 280–287.
- Prescott, C. E., 2002. The influence of the forest canopy on nutrient cycling. Tree Physiology: 22(15-16):1193-1200.
- Reynolds, J.F. & Wu, J., 1999. Do landscape structural and functional units exist? In: Tenhunen, J.D., Kabat, P. (Eds.), Integrating Hydrology, Ecosystem Dynamics, and Biogeochemistry in Complex Landscapes. John Wiley & Sons, Berlin, pp. 273–296.
- Rial, B. A., 2009. Un índice de evaluación de la vegetación con fines de conservación en áreas privadas de los llanos del Orinoco, Venezuela. INCI. [online]. feb. 2006, vol.31, no.2 [citado 16 Noviembre 2009], p.1-2. Disponible en la World Wide Web: http://www.scielo.org.ve
- Rietkerk, M.; Boerlijst, M.C.; Van Langevelde, F.; Lambers, R.; Van de Koppel, J.; Kumar, L.; Prins, H.H.; Roos, A.M., 2002. Self-organization of vegetation in arid ecosystems. American Naturalist 160, 524–530.
- Rotundo, J.L.; Aguiar, M.R., 2005. Litter effects on plant regeneration in arid lands: a complex balance between seed retention, seed longevity and soil–seed contact. Journal of Ecology 93, 829–838.
- Rundel, P.; Villagra, P.E.; Dillon, M.O.; Roig-Juñent, S.A.; Debandi, G., 2007. Arid and Semi-Arid Ecosystems. In: Veblen, T.T., Young, K., Orme, A.E. (Eds.). The physical Geography of South America. Oxford University Press, pp, pp. 158–183.
- Suvires, G. y Contreras, V.H., 2008. Late Cenozoic geomorphology and Geology of Loma de Las Tapias, San Juan Province, western part of Argentina. Capítulo en Libro "Cenozoic Geology of the Central Andes of Argentina". In pres, pp: 1-14. Salta. Instituto del Cenozoico.
- Tongway, D.J. & Hindley, N., 2004 a. Landscape function analysis: a system for monitoring rangeland function. African Journal of Range & Forage Science 21(2): 109–113
- Tongway, D.J. & Hindley, N., 2004 b. Landscape function analysis: Procedures for monitoring and assessing landscapes. CSIRO Sustainable Ecosystems. 80 pp. Canberra. Australia
- United Nations.1994. Elaboration of an international convention to combat desertification in countries experiencing serious drought and/or desertification, particularly in Africa. Final text of the Convention. www.unccd.int/convention/ text/pdf/conv-eng.pdf.
- Vilela, A.; Bolkovic, M.L.; Carmanchahi, P.; Cony, M. ; de Lamo, D.; Wassner, D., 2009. Past, present and potential uses of native flora and wildlife of the Monte Desert. Journal of Arid Environments 73: 238–243
- Villagra, P.E.; Defosse´, G.E.; del Valle, H.F.; Tabeni, S.; Rostagno, M., Cesca, E.; Abraham, E. 2009. Land use and disturbance effects on the dynamics of natural ecosystems of the Monte Desert: implications for their management. Journal of Arid Environments 73, 202–211.

INVENTARIO COLOMBIANO DE FUENTES Y VECTORES DE LIBERACIÒN DE DIOXINAS Y FURANOS PARA EL AÑO 2002

García-Ubaque, César Augusto (1),
Moreno, Juan Carlos (2),
Vaca Martha Lucía (3).

(1) Investigador Asociado Departamento de Ingeniería Ambiental Universidad Libre Seccional Bogotá.

Bogotá – Colombia. email: cesara.garciau@unilibrebog.edu.co.

(2) Director Grupo de Investigación Sólidos Porosos y Calorimetría Universidad de los Andes Bogotá – Colombia. email: jumoreno@uniandes.edu.co.

(3) Investigadora. Email: ml.vaca68@uniandes.edu.co

Palabras Clave

- Dioxinas y furanos
- inventario
- fuentes de emisión
- toolkit

RESUMEN

En este documento se presenta los principales resultados del proyecto encaminado a la realización de un inventario colombiano de fuentes y vectores de liberación de dioxinas y furanos teniendo como base el año 2002. El trabajo se desarrolló fundamentado en la metodología propuesta por el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente PNUMA en el "Instrumental Normalizado para la Identificación y Cuantificación de Liberaciones de Dioxinas y Furanos" -Toolkit-, Primera Edición, Mayo 2003. Se identificó las fuentes generadoras de dioxinas y furanos del país de acuerdo con las fuentes tenidas en cuenta en el material guía y se cuantificó sus liberaciones partiendo de la recopilación de información para cada uno de los procesos y utilizando factores de emisión por defecto propuestos en el Toolkit. Se encuentra que el total de emisiones es de 945.42 g EQT/a (gramo de equivalente tóxico al año) donde las principales fuentes son la combustión no controlada con el 55.12% del total y la incineración de desechos con el 15.75%. El principal vector de emisión es el aire con el 60.67% y los residuos con el 30.32%. Se tuvo limitaciones en la recolección de información dado que no existen registros oficiales para algunas categorías y subcategorías. Se encuentra que el índice de emisión por habitante en Colombia es relativamente bajo comparado con países con desarrollo industrial similar.

INTRODUCCIÓN

El Convenio de Estocolmo sobre Contaminantes Orgánicos Persistentes (COP) definió la necesidad de adopción de medidas para reducir las liberaciones de COP derivadas de la producción no intencional como las Dibenzoparadioxinas y Dibenzofuranos policlorados (PCDD/PCDFs) en los diferentes países, con la meta de reducirlas al mínimo y en los casos en que sea posible llegar a su eliminación definitiva [2]. Para esto es imprescindible la preparación y el mantenimiento de inventarios de fuentes, vectores de liberación y estimaciones de dioxinas y furanos para cada uno de los países, con el fin de tener claro las áreas específicas y hacia donde irán encaminadas las nuevas tecnologías y alternativas de solución para minimizar tales emisiones.

De acuerdo a lo anterior, PNUMA (Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente) Productos Químicos elaboró el documento guía "Instrumental Normalizado (Toolkit) [1,2] para la identificación y cuantificación de liberaciones de dioxinas y furanos" para la realización de inventarios de estas sustancias. El toolkit constituye una herramienta importante para los países en vía de desarrollo ya que permite elaborar inventarios nacionales de dioxinas y furanos con base en información de fuentes de dioxinas y furanos y la aplicación a las mismas de factores de emisión por defecto, sin afrontar el costo de realizarlos con base en determinaciones analíticas. La formación de PCDD y PCDF procede de cuatro tipos distintos de fuentes: [3]

1. Procesos de producción química. Son fuente probable dado que involucran sustancias precursoras y que contienen los diferentes elementos que conforman los PCDD/F`s. Entre estas industrias se tiene la producción de fenoles clorados, la producción de pasta y papel etc.

2. Procesos térmicos. La formación de Dioxinas y Furanos se ve favorecida a altas temperaturas. Este ítem incluye la incineración de desechos, la utilización de combustibles sólidos y líquidos y el procesamiento térmico de metales

3. Procesos biológicos. Pueden formar PCDD/PCDF a partir de precursores encontrados en los mismos. Existen pruebas de que esto sucede en el compostaje.

4. Fuentes de reservorios. Como antiguos botaderos de desechos contaminados, suelos y sedimentos, que pueden haber acumulado PCDD/PCDF durante largos periodos de tiempo.

Los principales vectores de emisión o fuentes medioambientales a través de las cuales se puede llevar a cabo liberaciones de PCDD/F`s son:

1. Aire: Las fuentes que más usan este vector son combustión, producción y fundición de metales, secado, calentamiento y cocción, plantas térmicas. La emisión depende de las condiciones de proceso y del sistema de control de contaminación del aire (SCCA)

2. Agua: incluye agua dulce, océanos, estuarios, etc. Se produce por descarga de aguas residuales, lixiviados en botaderos o rellenos sanitarios, sitios contaminaos o aplicación de productos contaminados.

3. Tierra (suelos): Algunos productos contaminados son aplicados directamente a la tierra o en esta se dejan precursores que con el tiempo generan los PCDD/F´s.

4. Productos: como preparaciones químicas o bienes de consumo como papel, textiles, etc. Los fenoles clorados y sus derivados, como el pentaclorofenol (PCP) y su sal sódica, el ácido 2,4,5-triclorofenoxiacético (2,4,5-T) contienen altas concentraciones de PCDD/PCDF, así como los bifenilos policlorados (PCB).

5. Residuos: incluidos líquidos, lodos y residuos sólidos que se manejan como desechos o también productos reciclados. Desechos municipales, industriales, peligrosos, hospitalarios, etc. También desechos secundarios de procesos de combustión como cenizas volantes, escoria, hollín, etc. Incluye también residuos y lodos de producción química, lodos de plantas de tratamiento de aguas residuales, aceites usados entre otros.

METODOLOGÍA

Para la realización del inventario, se conformó un grupo de trabajo especializado integrado por profesionales del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (MAVDT) y de un equipo consultor externo.

Se empleó la metodología descrita por el “Toolkit” la cual incluye la aplicación de los factores de emisión por defecto propuestos en la guía, para lo cual es necesario recopilar y analizar una gran cantidad de información proveniente de diversas fuentes tanto del sector público como del sector privado, que incluye la realización de visitas, encuestas especializadas a través de formatos diseñados para tal fin, revisión de bases de datos, documentos técnicos y otras publicaciones en general.

El Toolkit presenta un procedimiento estandarizado de 5 pasos, que busca el desarrollo de inventarios consistentes y comparables de fuentes de PCDD/PCDF.

1. Partiendo de una Matriz general para identificar las categorías principales de fuentes de PCDD/PCDF en el país.

2. Se detallan estas categorías en subcategorías para identificar actividades individuales que generan PCDD/PCDF.

3. Recopilación de información específica de los procesos o actividades a caracterizar, con el fin de clasificar las fuentes identificadas de liberaciones de PCDD/PCDF en un país. Se provee los cuestionarios estandarizados para recopilar la información necesaria.

4. calculo de las liberaciones de PCDD/PCDF con base en la información recogida a través de la siguiente ecuación:

$$L = Fe * Ta \quad (1)$$

Donde:

L = Liberación de dioxinas en gramo equivalente toxico por año (g EQT/a)

Fe = Factor de emisión por defecto en microgramo de equivalente tóxico por tonelada (µg EQT/t)

Ta = Tasa de actividad en toneladas por año (t/a)

5. Compilación del inventario estandarizado de PCDD/PCDF. Para esto, el instrumental provee un formato estandarizado para asegurar que todas las fuentes son consideradas, aun cuando no se puedan cuantificar. De esta manera los inventarios generados con base en esta metodología, son documentos transparentes y comparables.

Estos pasos se aplicaran de acuerdo a las actividades del país, teniendo en cuenta las diez categorías. Los cuestionarios se envían a entidades representativas, aquellas ubicadas en una o varias de las subcategorías consignadas en el Toolkit. Una vez obtenida la información a través de encuestas, se realizaron visitas a los procesos de interés, con el fin de reconfirmar la información enviada por ellos y obtener un registro fotográfico. Una vez verificada la información, se

ajustaron los cálculos realizados y se compiló la información del Inventario Nacional. A continuación se listan las principales fuentes de información.

- Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial.
- Ministerio de Industria, Comercio y Turismo.
- Ministerio de Transporte.
- Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural y el Instituto Colombiano Agropecuario ICA
- Ministerio de Minas y Energía y la Unidad de Planeación Minero-Energética, UPME.
- Departamento Nacional de Estadística DANE
- Superintendencia de Sociedades
- Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales IDEAM
- Instituto de Investigación e Información Geocientífica, Minero-Ambiental y Nuclear, INGEOMINAS.
- Confederación Colombiana de Bomberos
- Instituto Colombiano de Productores de Cemento ICPC
- Asociaciones Gremiales como:
    - Asociación Nacional de Industriales ANDI
    - Asociación de Pequeños Industriales ACOPI
    - Federación Nacional de Arroceros FEDEARROZ
    - Federación de Cultivadores de Palma FEDEPALMA
    - Asociación de Cultivadores de Caña de Azúcar ASOCAÑA
    - Federación Nacional de Cultivadores de Cereales y Leguminosas FENALCE
    - Confederación de algodoneros CONALGODON.

Para poder seleccionar el factor de emisión a aplicar en cada caso, se establecieron los siguientes criterios de decisión:

- La combustión de los residuos se considera de baja tecnología, cuando el incinerador cuenta solamente con cámara de combustión (cámara inferior), no tiene control de temperatura, la carga de los residuos se realiza por lotes, no importa si tiene ciclón o no.
- El sistema de control de contaminación atmosférica, se considera nulo ó mínimo cuando solamente dispone de ciclón.
- La combustión de los residuos se considera controlada, cuando el incinerador cuenta con cámara de combustión y cámara de post combustión sin importar si tiene ciclón o no.
- El sistema de control de contaminación atmosférica (SCCA), se considera bueno cuando cuenta con quencher (enfriador de choque) de gases en combinación con filtro de mangas ó precipitador electroestático (cold type con temperatura < 150°C)
- Se considera que en Colombia no existe un sistema de incineración de alta tecnología, con combustión continua y controlada y sistema de SCCA sofisticado.

CATEGORIAS DEL TOOLKIT APLICABLES A COLOMBIA

En la siguiente tabla se presenta la matriz de las 10 principales categorías.

No.	Categoría	Posibles vías de liberación				
		Aire	Agua	Tierra	Productos	Residuos
1	Incineración de desechos	X				X
2	Producción de metales ferrosos y no ferrosos	X				X
3	Generación de energía y calefacción	X		X		X
4	Producción de minerales	X				X
5	Transporte	X				
6	Procesos de combustión incontrolados	X	X	X		X
7	Producción y uso de sustancias químicas y productos de consumo	X	X		X	X
8	Varios	X	X	X	X	X
9	Evacuación / Terraplenes	X	X	X		X
10	Identificación de puntos calientes	Se identificaron pero no se cuantificó				

Tabla No. 1 Principales categorías de las fuentes

Para la aplicación del paso No. 2 se tiene en cuenta las tablas correspondientes que se encuentran en a lo largo del Toolkit donde se distinguen las subcategorías que deben considerarse. A continuación se explica algunas razones relevantes tenidas en cuenta para determinar la clase de tecnología que se pone entre paréntesis a fin de aplicar el factor de emisión.

Categoría No. 1. Incineración de desechos [9,19]

A través de los diferentes fabricantes se determino el tipo de incineradores en el país y cuantos funcionan así como las cantidades que cada uno de ellos procesan. A través de trabajos del MAVDT – CAR (Corporaciones Autónomas Regionales), se logró hacer una aproximación nacional al tipo de residuos manejados y la tecnología empleada para la incineración.

No se incinera grandes volúmenes residuos sólidos municipales, estos se disponen en botaderos, solo se incinera en los sitios donde no hay botaderos. Dadas las condiciones se aplica clase 1 para estos y para desechos hospitalarios, combustión de biomasa, cadáveres de animales y los lodos de alcantarillas. Los desechos peligrosos se incineran en equipos clase 2. No se tuvo en cuenta la subcategoría d que contempla los desechos de desguace (fracción ligera). Los volúmenes y factores de emisión para esta categoría se presentan en la tabla No. 13

Categoría No. 2 Producción de metales ferrosos y no ferrosos [7]

En el país esta industria es bastante activa. El hierro se produce a altas temperaturas (clase 3), el acero cuando se produce de forma primaria clase 4 y el secundario clase 1, el coque se obtiene empleando combustibles que pueden llegar a tener grandes cantidades de Cl- como impureza, clase 1. Plomo se genera a través de chatarra y de baterías usadas; se clasifica dependiendo de la tecnología tenida en cuenta a la hora de la recuperación de las baterías si es alta (clase 3)

de lo contrario clase 1. Zinc se produce a partir de chatarra que contiene gran cantidad de impurezas (clase 1), aluminio si es primario (clase 3) y el secundario (clase 1), estaño, oro, cobre no se tiene sistemas de control de emisiones (clase 1), bronce-latón (clase 1 y 2); ferroniquel y demás metales no ferrosos (clase 1 y 2). En el país no se realiza recuperación térmica de cables de forma legal en tanto que no se encuentra registros para tal actividad.

Categoría No. 3 Generación de energía y calefacción[5]
Para las plantas de generación de energía por combustibles fósiles y por biomasa, la información se obtuvo de un balance anual de la UPME (Unidad de Planeación Minero Energética). En el país no se realiza obtención de energía a partir de biogas. Se obtuvo datos de la quema de biogas en el relleno sanitario de Doña Juana en Bogotá. Respecto del uso doméstico de combustibles no se encontró cifras exactas así que se toma la información que presenta el inventario de Cuba donde se indica que el 10% del carbón consumido se convierte en ceniza [13].

Categoría No. 4 Producción de minerales
Las diferentes materias primas tienen cierto contenido de materia orgánica. El cemento se produce a temperaturas bajas (200-300ºC) vía húmeda (clase 3), si es en proceso seco, la temperatura es alta (clase 2). En la producción de cal, cerámico y vidrio las temperaturas son muy elevadas y las diferentes plantas no realizan control de emisiones (clase 1). Los combustibles empleados en la fabricación de ladrillos contienen materiales clorados (clase 1). Las mezclas de asfalto pueden emplear materias primas bastante contaminadas (clase 1).

Categoría No. 5 Transporte[4,5,6]
Se incluye gasolina, diesel y gas licuado del petróleo GLP, también transporte terrestre, marítimo, fluvial, etc. Se recopila la información a través del UPME, el ministerio de transporte y ECOPETROL.

Categoría No. 6 Procesos de combustión incontrolados [12]
Las cifras para los incendios forestales se obtuvieron del IDEAM, otras cifras correspondientes a la quema de biomasa se obtiene de datos de Nueva Zelanda. Los datos para quema de residuos agrícolas se obtienen determinando los diferentes volúmenes de residuos generados en los cultivos entre los cuales se realizan estas prácticas como arroz, trigo, maíz, caña de azúcar y sorgo. Dado el contacto de estos productos con plaguicidas se asume factor de emisión tipo 4, aunque se tiene gran incertidumbre. Los datos de incendios se recopilaron a través de la corporación de bomberos.

Categoría No. 7 Producción y uso de sustancias químicas y productos de consumo [2]
En la industria de pasta y papel se quema lignito, licor negro, madera y corteza como combustible, a demás se emplea sustancias cloradas para blanquear la pulpa, (clase 1). De la industria química relacionada con la producción de sustancias cloradas solo se realiza la polimerización de cloruro de vinilo para generar PVC. En el proceso del cuero no se emplea sustancias cloradas (clase 2). En los textiles las materias primas se consideran no contaminadas, usamos clase 2.

Categoría No. 8 Varios
Se realiza desecado de biomasa muchas veces se emplea material biológico que puede llegar a estar contaminado (tipo 3), en los hornos crematorios se tiene un control medio por lo que se usa tipo 2. En la industria de humus se emplea madera limpia pero no se realiza buenos controles (clase 1). En la limpieza en seco se emplea sustancias cloradas, a demás puede lavarse telas altamente contaminadas (clase 1) o que no tienen mucha posibilidad de contaminación (clase 2). Los datos respecto del humo del tabaco se consideraron de acuerdo a la producción de cigarrillos y puros.

Categoría No. 9 Evacuación de terraplenes
De acuerdo con los datos reportados pro el MAVDT se realizaron las estimaciones respecto a los lixiviados clasificándolos en peligrosos y no peligrosos, también se evaluaron los volúmenes de aguas negras, industriales y domiciliarias así como los vertidos de aguas y el compostaje. Los aceites usados no presentan un factor de emisión asignado en el toolkit.

Categoría No. 10 Identificación de posibles puntos calientes
La existencia de puntos calientes es generalmente consecuencia directa de las diferentes prácticas de gestión. La liberación de PCDD/PCDF en estos puntos, puede: a) estarse produciendo, b) ser inminente o c) solamente representar una amenaza para el futuro.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se presentan los principales resultados obtenidos para cada una de las categorías.

Cla	Subcategorías de fuentes	Vía posible de liberaciones (µg/EQT/t)			Actividad t/a	Liberación anual (g/EQT/a)		
		Aire	Residuos			Aire	Cenizas	Escorias
			Cenizas	Escorias				
	Incineración de desechos							
	Incineración de desechos sólidos municipales				1.803	6,311	0.000	0,135
1	Tecnología simple, sin sistema ACP.	3.500	0	75	1.803	6,311	0,000	0,135
	Incineración de Desechos Peligrosos				22.585	7,905	20,327	0,000
2	Combustión controlada, mínimo ACP	350	900		22.585	7,905	20,327	0,000
	Incineración de Desechos Médicos/Hospitalarios				29.305	88,433	0,000	0,589
1	Tecnología simple, por lotes, sin SCCA	40.000		200	14	0,560	0,000	0,003
2	Combustión controlada por lotes, mínimo SCCA	3.000		20	29.291	87,873	0,000	0,586
	Incineración de lodos de alcantarilla				5.071	0,254	0,117	0,000
1	Hornos antiguos, por lotes sin o mínimo SCCA	50	23		5.071	0,254	0,117	0,000
	Incineración de desechos de madera y de biomasa				233.672	15,267	144,572	0,000
1	Hornos antiguos, por lotes sin o mínimo SCCA	100	1.000		143.672	14,367	143,672	0,000
2	Combustión moderna y continua, algún SCCA	10	10		90.000	0,900	0,900	0,000
	Combustión de cadáveres de animales				374	0,187	0,000	0,000
1	Hornos antiguos, por lotes sin o mínimo SCCA	500			374	0,187	0,000	0,000
1	Incineración de desechos					118,356	165,015	0,724

Tabla No. 2 Resultados categoría No. 1 Incineración de desechos

Cat	Sub	Cla	Subcategoría de Fuentes	Vía Posible de liberación (µg/EQT/t)			Producción t/a	Liberación anual (g/EQT/a)		
				Aire	Agua	Residuos		Aire	Agua	Residuos
2			Producción de metales ferrosos y no ferrosos							
	a		Sinterización de hierro				449.400	0,135	0	0,001
		3	Alta tecnología, reducción de emisiones	0,3	ND	0,003	449.400	0,135		0,001
	b		Producción de coque				608.060	1,090	0,036	0
		1	Sin limpieza de gas	3	0,06	ND	336.000	1,008	0,020	
		2	SCCA postcombustión y retención de polvo	0,3	0,06	ND	272.060	0,082	0,016	
	c		Producción de Acero y funderías de hierro. Industria siderometalúrgica				800.000	4,946	0	7,415
		1	Chatarra sucia (aceites de corte, etc.), precalentamiento de chatarra control limitado	10	ND	15	494.330	4,943		7,415
		4	Altos hornos con SCCA	0,01	ND	ND	305.670	0,003		0,000
			Funderías de hierro				637.000	6,370	0	0,000
		1	Cubilote de aire frío o tambor rotatoria y depuración de gas	10	ND	ND	637.000	6,370		0,000
	d		Producción de cobre				3.090	2,472	0	1,947
		1	Sec. Cu – tecnología Básica	800	ND	630	3.090	2,472		1,947
	e		Producción de aluminio				27.370	0,580	0	0,876
		1	Procesamiento térmico de chatarra de Al con tratamiento mínimo, baja retención de polvo.	150	ND	400	2.190	0,329		0,876
		3	Rescado de raspaduras / viruta	10	ND	NA	25.180	0,252		0,000
	f		Producción de plomo				9.500	0,382	0	0
		1	Producción de Pb a partir de chatarra que contiene tabiques de batería de PVC	80	ND	ND	4.750	0,380		
		3	Producción de Pb a partir de chatarra libre de PVC/Cl2 en hornos distintos de los altos hornos con scrubber.	0,5	ND	ND	4.750	0,002		
	g		Producción de zinc				2.126	2,126	0	
		1	Horno sin ningún control de polvo	1.000	ND	ND	2.126	2,126		
	h		Producción de bronce y de latón				4.031	0,0006	0	
		1	Hornos de fusión sencillos	1	ND	ND	213	0,0002		
		2	Hornos más complejos como hornos de inducción con sistemas de SCCA	0,1	ND	ND	3.818	0,0004		
	l		Producción de magnesio				2.000	0,500	18,000	
		1	Producción mediante termotratamiento de MgO/C en Cl_2; sin tratamiento del efluente, tratamiento limitado del gas	250	9.000	0	2.000	0,500	18,000	
	j		Producción de otros metales no ferrosos				136.765	0,404	0	
		1	Procesos térmicos, chatarra contaminada, control sencillo o nulo del polvo	100	ND	ND	1.333	0,133		
		2	Procesos térmicos de metales no ferrosos, chatarra limpia, filtros de mangas / inyección de cal / postcombustión	2	ND	ND	135.432	0,271		
	l		Trituradora (p.e. automóviles)				152.243	0,030	0	
		1	Plantas de desguace de metales	0,2	NA	ND	152.243	0,030		
2			Producción de metales ferrosos y no ferrosos					19,037	18,036	10,239

Tabla No. 3 Resultados Categoría No. 2 Producción de metales ferrosos y no ferrosos

Cat	Sub	Cla	Subcategoría de Fuentes	Vía Posible de liberación (µg/EQT/TJ)		Producción TJ/a	Liberación anual (g/EQT/a)	
				Aire	Residuos		Aire	Residuos
3			Generación de energía y calefacción					
	a		Centrales eléctricas de combustibles fósiles			255.909	0,772	0,900
		2	Calderas de energía que queman carbón	10	14	64.074	0,641	0,900
		3	Calderas de energía que queman aceite pesado	2,5	ND	17.634	0,044	0,000
		4	Calderas de energía que queman aceite ligero / gas natural	0,5	ND	174.201	0,087	0,000
	b		Centrales eléctricas de biomasa			78.913	3,946	1,200
		1	Calderas alimentadas por biomasa (ex madera)	500	ND		0,000	0,000
		2	Calderas alimentadas por madera limpia	50	15	78.913	3,946	1,200
	c		Rellenos Sanitarios, combustión de biogás			693	0,006	0,000
		1	Calderas, motores/turbinas, fuego	8	NA	693	0,006	0,000
	d		Combustión de biomasa para uso doméstico (calefacción, cocina)			71.622	7,162	1,400
		1	Estufas alimentadas por madera contaminada / biomasa	1.500	2.000	0	0,000	0,000
		2	Estufas alimentadas por madera virgen / biomasa	100	20	71.622	7,162	1,400
	e		Combustión de combustibles fósiles para uso doméstico				6,825	48,000
		1	Estufas de carbón (t)	70	5.000	96.000	6,720	48,000
		2	Estufas de petróleo	10	ND	2.233	0,022	0,000
		3	Estufas de gas natural	1,5	ND	55.101	0,083	0,000
3			Generación de energía y calefacción				18,710	51,500

Tabla No. 4 Resultados categoría No. 3 Transformación de energía

Cat	Sub	Cla	Subcategoría de Fuentes	Vía Posible de liberación (µg/EQT/TJ)	Producción t/a	Liberación anual (g/EQT/a)
				Aire		Aire
4						
	a		Hornos de cemento		5.799.131	1,837
		2	Hornos húmedos, temperatura ESP/FF 200-300 ºC	0,6	2.812.578	1,688
		3	Hornos húmedos, temperatura ESP/FF < 200 ºC y todos los tipos de hornos secos	0,05	2.986.553	0,149
	b		Producción de cal		153.800	1,538
		1	Ciclón / Sin control de polvo	10	153.800	1,538
	c		Producción de ladrillos		1.764.151	0.353
		1	Ciclón / Sin control de polvo	0,2	1.764.151	0.353
	d		Producción de vidrio		2.687	0,001
		1	Ciclón / Sin control de polvo	0,2	2.687	0,001
	e		Producción de cerámica		328.476	0,066
		1	Ciclón / Sin control de polvo	0,2	328.476	0,066
	f		Mezclado de asfalto		338.947	0,024
		1	Planta de mezclado sin limpieza de gases	0,07	338.947	0,024
4			Producción de productos minerales			3,818

Tabla No. 5 Resultados categoría No. 4 Producción de minerales

Cat	Sub	Cla	Subcategoría de Fuentes	Vía Posible de liberación (µg/EQT/t)	Consumo t/a	Liberación anual (g/EQT/a)
				Aire		Aire
5						
	A		Motores de 4 tiempos		3.651.752	0,365
		2	Combustible sin plomo, sin catalizador	0,1	3.651.752	0,365
	B		Motores de 2 tiempos		233.091	0,583
		2	Combustible sin plomo, sin catalizador	2,5	233.091	0,583
	C		Motores diesel		2.765.870	0,277
		1	Motores diesel	0,1	2.765.870	0,277
	D		Motores de aceite pesado		191.103	0,764
		1	Todos los tipos	4	191.103	0.764
5			Transportes			1,989

Tabla No. 6 Resultados categoría No. 5 Transporte

Cat	Sub	Cla	Subcategoría de Fuentes	Vía Posible de liberación (µg/EQT/t)			Biomasa quemada t/a	Liberación anual (g/EQT/a)		
				Aire	Tierra	Residuos		Aire	Tierra	Residuos
6			Procesos de combustión incontrolada							
	a		Quema de biomasa virgen				1.975.840	53,366	18,340	0
		1	Incendios forestales	5	4	ND	85.595	0,428	0,342	
		2	Incendios de praderas y brezos	5	4	ND	150.754	0,754	0,603	
		4	Quema de residuos agrícolas tratados con plaguicidas (en el campo)	30	10	ND	1.739.490	52,185	17,395	
	b		Quema de desechos e incendios accidentales				266.740	240,478	0	123,264
		1	Incendios de vertederos	1.000	NA	ND	142.005	142,005		
		2	Incendios accidentales de viviendas, fábricas	400	NA	400	183.900	73,560		73,560
		3	Quema no controlada de desechos domésticos	300	NA	600	82.840	24,852		49,704
		4	Incendios accidentales de vehículos (por incidente)	94	NA	18	650	0,061		0,012
6			Procesos de combustión incontrolada					293,845	18,340	123,264

Tabla No. 7 Resultados categoría No. 6 Combustión incontrolada

Cat	Sub	Cla	Subcategoría de Fuentes	Vía Posible de liberación (µg/EQT/t)				Producción t/a	Liberación anual (g/EQT/a)			
				Aire	Agua	Productos	Residuo		Aire	Agua	Producto	Residuo
7			Producción y uso de sustancias químicas y bienes de consumo									
	a		Fábricas de pasta y papel									
			Calderas (per telada de pulpa tSA)					222.950	0,016	0	0	0
		1	Calderas de licor negro, quema de lodos y madera	0,07			1.000	222.950	0,016			
			Lodos	Agua		Residuos		25.745		0,0018	0	2,574
				µg EQT/tSA	ng EQT/m^3	µg EQT/ t sludge						
		1	Proceso kraft, antigua tecnología (Cl_2)	4,5	70	100		25.745		0,0018		2,574
			Pasta y papel	Aire	Agua	Productos	Residuos	160.906	0	0	1,285	0
		1	Papel kraft de fibras primarias (Cl_2)			8		160.519			1,284	
		2	Papel sulfito de alta tecnología (Cl_2)			1		387			0.001	0
	b		Industria química									
			Pentaclorofenol (PCP)	Aire	Agua	Productos	Residuos	10	0	0	20,000	0
		1	Producción europea/americana (cloración del fenol con Cl_2)			2.000.000		10			20,000	
			Plaguicidas clorados	Aire	Agua	Productos	Residuos	1.471	0	0	1,029	0
		4	Acético, 2-4-diclorofenoxiacético (2,4-D)			700		1.469			1,029	
		6	Clorobenzeno			ND	ND	2				
			Cloranilo	Aire	Agua	Productos	Residuos	3	0	0	1,200	0
		1	p-cloranilo por cloración de fenol			400.000		3			1,200	
			EDC VCM / PVC	Aire	Agua	Productos	Residuos	230.979	0,000069	0,0069	0,023	0,046
		2	Plantas modernas					230.979	0,000069	0,0069	0.023	0,046
			PVC solamente	0,0003	0,03	0,1	0,2	230.979	0,000069	0,0069	0,023	0,046
	d		Plantas textiles	Aire	Agua	Productos	Residuos	49.263	0	0	0,005	0
		2	Límite inferior	NA	ND	0,1	ND	49.263			0,005	
	e		Plantas de cuero	Aire	Agua	Productos	Residuos	15.882	0	0	0,159	0
		2	Límite inferior	NA	ND	10	ND	15.882			0,159	
7			Producción y uso de sustancias químicas y bienes de consumo						0,016	0,009	23,700	2,620

Tabla No. 8 Resultados categoría No. 7 Producción y uso de sustancias químicas y bienes de consumo

Cat	Sub	Cla	Subcategoría de Fuentes	Vía Posible de liberación (µg/EQT/t)			Producción t/a	Liberación anual (g/EQT/a)		
				Aire	Productos	Residuos		Aire	Productos	Residuos
8			Varios							
	a		Secado de biomasa				4.848.420	45,002	2,285	0
		1	Madera limpia	0,007	0,1	ND	348.420	0,002	0,035	
		2	Forraje verde	0,1	0,1	ND	0			
		3	PCP – o biomasa tratada de otra manera	10	0,5	ND	4.500.000	45,000	2,250	
	b		Crematorios				1.357	0,014	0	0,003
		1	Sin control	90	NA	2,5	0	0,000		0,000
		2	Control intermedio	10	NA	2,5	1.357	0,014		0,003
		3	Control óptimo	0,4	NA	2,5	0	0,000		0,000
	c		Ahumaderos				603	0,004	0	0,121
		1	Combustión de Madera tratada, combustión de desechos	50	51	2.000	0	0,000		0,000
		2	Combustible limpio, sin postcombustión	6	ND	200	603	0,004		0,121
		3	Combustible limpio, con postcombustión	0,6	ND	20	0	0,000		0,000
	d		Residuos de limpieza en seco				1.333	0	0	0,00203
		1	Textiles pesados tratados con PCP, etc.	NA	NA	3.000	0,67			0,002
		2	Textiles normales	NA	NA	50	0,67			0,00003
	e		Consumo de tabaco				22.649.880.000	0,0023	0	0
		1	Cigarros puros (por unidad)	0,3 pgEQT/un	NA	NA	450.000	0,000		
		2	Cigarrillos (por unidad)	0,1 pgEQT/un	NA	NA	22.649.430.000	0,0023		
8			Varios					45,022	2,285	0,126

Tabla No. 9 Resultados categoría No. 8 Varios

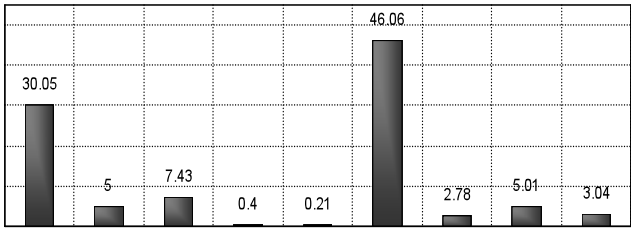
Cat	Sub	Cla	Subcategoría de Fuentes	Vía Posible de liberación (µg/EQT/t)			Producción m^3/a	Liberación anual (g/EQT/a)		
				Agua	Productos	Residuos		Agua	Productos	Residuos
9			Manejo de desechos							
	a		Lixiviado de rellenos		ng/EQT/m^3		1.289.936	0,083	0	0
		1	Desechos peligrosos	200	NA		257.987	0,052		
		2	Desechos no peligrosos	30	NA		1.031.949	0,031		
	b		Aguas negras y su tratamiento				458.763.444	1,193	0	19,268
		1	Industriales, domésticas mezclada, con posibilidad de cloro				91.752.689	0,459	0	0
			Sin evacuación de lodo	5	NA	1.000	91.752.689	0,459		13,763
		2	Ambiente urbano				367.010.755	0,734	0	5,505
			Sin evacuación de lodo	2	NA	100	367.010.755	0,734		5,505
			Con evacuación de lodo	0,5	0,0005	100	0	0,000		
		3	Lugares remotos o plantas de tratamiento	0,1	NA	10	0	0,000		
	c		Vertido al agua				490.698.782	0,687	0	0
		1	Industriales domésticas, mezcladas con posibilidad de cloro	0,005			98.139.756	0,491		
		2	Ambiente urbano	0,0002	NA	NA	392.559.026	0,196		
		3	Lugares remotos o plantas de tratamiento	0,001	NA	NA	0	0,000		
	d		Compostado				501.836 t/a	0	7,528	0
		1	Todas las fracciones orgánicas	ND	100	NA	0			
		2	Desechos de jardín y cocina	ND	15	NA	501.836		7,528	
		3	Materiales verdes, ambientes no impactados	ND	5	NA	0			
		1	Todas las fracciones	ND	ND	ND				
9			Manejo de desechos					1,962	7,528	19,268

Tabla No. 10 Resultados categoría No. 9 Evacuación Terraplenes

Emisión/Habitante/año	43.984.000 Habitantes	945.42g EQT/a	21.49 µg EQT
Emisión /Km^2 año	2.070.408 Km^2	945.42g EQT/a	456.63 µg EQT
Emisión/ PIB Habitante	U$ 26.711.000	945.42g EQT/a	574.14 g EQT

Tabla No. 11 Compilación los de resultados

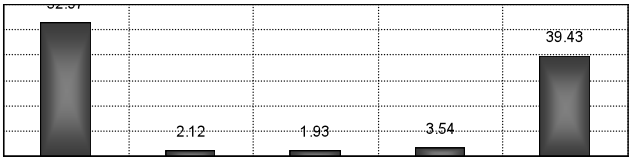
El resultado del inventario arroja un valor de generación total de dioxinas y furanos de 945.42 g (EQT)/a en el año 2002.



Las categorías que participan con un mayor aporte a la liberación total del país son: Procesos de Combustión no Controlados que genera el 46.06% del total de las liberaciones, Incineración de Desechos con el 30.05%, Transformación de Energía y Calefacción con el 7.43%, Producción de Metales Ferrosos y no Ferrosos con el 5% y Varios con el 5.02%.

Dentro de la categoría de Procesos de combustión no controlados, la subcategoría correspondiente a quema de desechos e incendios, tiene un aporte del 83,53% del total de la categoría y dentro de esta subcategoría los mayores aportes los realizan las actividades de incendios de vertederos e incendios de viviendas y fábricas. La subcategoría de quema de biomasa aporta el 16,47% de las liberaciones y dentro de ella la actividad que realiza prácticamente la totalidad de los aportes es quema de residuos agrícolas.

Con respecto a la categoría de Incineración de Desechos, la subcategoría que realiza el mayor aporte a las liberaciones es la incineración de desechos médicos, con una participación del 71,53% y en segundo lugar la incineración de desechos peligrosos con una participación del 22,69% del total de los aportes de esta categoría. Las liberaciones realizadas por las actividades contempladas en estas dos categorías representan el 70,87% del total de las liberaciones del país.



Los mayores porcentajes corresponden a la liberación al aire 52.97% y en los residuos 39.43%. En menor proporción tenemos la liberación a la tierra 1.93%, en los productos 3.51% y al agua 2.12%.

Las liberaciones totales al vector aire fueron de 500.79g (EQT)/a la principal fuente son los procesos de combustión no controlada, que representaron el 61.3% dentro esta categoría se halla la quema de residuos agrícolas, los incendios forestales, los incendios accidentales y los incendios de botaderos como las principales fuentes. Para la incineración de desechos el mayor aporte en las liberaciones al aire lo realiza la incineración desechos hospitalarios. Las liberaciones totales al agua fueron de 20,01g (EQT)/a, las principales fuentes fueron la producción de metales ferrosos y no ferrosos, específicamente, la producción de óxido de magnesio. Respecto de las liberaciones totales a la tierra de 18,34 g (EQT)/a, en ella contribuyen principalmente las actividades de quema biomasa virgen. Para el caso de liberaciones en productos, el valor fue de 33.51 g (EQT)/a, el mayor aporte lo realiza la producción y uso de sustancias químicas y bienes de consumo, específicamente la utilización de pentaclorofenol. Las liberaciones en residuos fueron de 372.77 g (EQT)/a, los aportes principales los hacen la quema no controlada de biomasa, específicamente la quema de desechos e incendios y la categoría de transformación de energía y calefacción, específicamente la combustión de carbón para uso doméstico.

Con base en la población, superficie y producto bruto interno se pueden obtener los siguientes índices de liberación de dioxinas y furanos para Colombia:

Emisión/Habitante/año	43.984.000 Habitantes	945.42g EQT/a	21.49 µg EQT
Emisión /Km² año	2.070.408 Km²	945.42g EQT/a	456.63 µg EQT
Emisión/ PIB Habitante	U$ 26.711.000	945.42g EQT/a	574.14 g EQT

Tabla No. 12 Índices de emisión en Colombia

Categorías	Argentina	Cuba	Paraguay	Uruguay	Colombia
1. Incineración de desechos	126.15	57.16	3.521	4.834	284,09
2. Producción de metales ferrosos y no ferrosos	96.43	21.88	1.554	2.848	47,31
3. Generación de energía y calefacción	73.18	56.1	3.702	1.289	70,22
4. Producción de productos minerales	6.54	4.67	1.13	1.026	3,82
5. Transportes	3.08	0.42	0.365	1.359	1,99
6. Procesos de combustión incontrolados	1,674.03	170.76	145.75	15.553	435,45
7. Producción y uso de sustancias químicas	88.95	0.52	0.00021	0.787	26,34
8. Varios	8.1	0.24	0.249	0.002	47,43
9. Evacuación	34.36	7.04	0.169	0.288	28,76
TOTAL	**2,110.92**	**319**	**155.83**	**28**	**945,42**

Tabla No. 13 Emisiones en otros países [11, 13, 14, 15,]

PAIS	EMISIÓN g EQT/año	POBLACION	EMIS/PNA µg EQT
1. ARGENTINA	2,110.92	37,400,000	56.44
2. CUBA	319.00	11,217,000	28.44
3. PARAGUAY	155.83	5,206,101	29.93
4. URUGUAY	28.00	3,313,000	8.45
5. COLOMBIA	**945.42**	**44,984,000**	**21.02**

Tabla No. 14 Índices de emisión para algunos países América [11, 13, 14, 15,]

Tal como se evidencia en las tablas anteriores, las emisiones en Colombia son relativamente altas teniendo en cuenta que es un país con un nivel industrial relativamente bajo, claro está que al ver en términos de índices que es un dato más diciente, se nota que el índice es bajo dada la gran cantidad de habitantes y a demás respecto de los países con que se compara su nivel tecnológico es similar, aunque es de destacar que en tal sentido Argentina tiene un industria un poco más desarrollada lo cual explica el alto índice de emisión por habitante. Es claro que Uruguay es un país con bajas emisiones y un bajo índice, dado que su nivel de industrialización es muy bajo.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- La generación total de dioxinas y furanos en Colombia es aproximadamente de 945.42 g (EQT)/a para el año 2002, este valor es relativamente bajo pero esta de acuerdo con la tecnología existente y el grado de industrialización del país.
- Las principales fuentes de liberación de PCDD/F´s corresponden a los Procesos de combustión no controlados y a la incineración de desechos, dado que en los procesos de combustión no controlados se maneja grandes volúmenes especialmente en los incendios y la quema accidental de biomasa (incendios forestales), la de residuos agrícolas y para la preparación de suelos.
- Aunque la incineración de desechos no maneja volúmenes muy grandes dado que la mayoría de estos en ciertas categorías se disponen en rellenos sanitarios (principalmente los que se queman son los Residuos Sólidos Hospitalarios), la cantidad de emisiones si es alta puesto que la tecnología empleada para estos fines es inadecuada en algunos casos.
- Los factores de emisión son bastante elevados para las clases consideradas en la categoría 1, en contraste con esto son bastante bajos para las clases tenidas en cuenta en las categorías 4, 5, 8. En la categoría 2 para algunos casos son bajas pero para otros son relativamente altas, esto también ocurre con las categorías 6, 7 y 9.
- La tecnología de incineración de residuos de los diferentes tipos en el país es bastante incipiente, en la mayoría de los casos tan solo se cuenta con una cámara de combustión y los sistemas de control de emisiones son bastante elementales en algunos casos y prácticamente nulos en la mayoría.
- Las categorías 4 y 5 referente a la producción de minerales y al transporte respectivamente son las que representan menores generaciones de PCDD/F´s. En el caso de transporte, los combustible empleados en el país están libres de Pb los sistemas de control en los vehículos de transporte no son muy elevados pero el factor de emisión asignado en estos casos es relativamente bajo. Respecto de la producción de minerales se puede decir que así se generen a altas temperaturas y en algunos casos los combustibles empleados presenten cierto grado de contaminación, los factores de emisión asignados por el Toolkit para esta industria no son muy altos.
- Los principales vectores de liberación de PCDD/F´s son el aire y los Residuos.
- El índice de emisión por habitante para Colombia es relativamente bajo, comparado con países con un nivel industrial similar.
- Las principales medidas a adoptar encaminadas a la reducción de las liberaciones, deben tener un carácter preventivo y estar orientadas a la no generación en la propia fuente a partir de la adopción de las Mejores Técnicas Disponibles y Mejores Prácticas Ambientales, así como orientar esfuerzos hacia el control y seguimiento de los procesos y actividades que más contribuyen a dichas liberaciones.
- Instalar sistemas de control que involucren efectivos tratamientos de los gases producto de combustión de diferentes materiales en las industrias en las que los requerimientos energéticos son importantes.
- La eliminación gradual de las prácticas de quema de residuos agrícolas y quema de desechos a cielo abierto, dando especial prioridad a la cascarilla de arroz y a la caña de azúcar por el gran volumen de producción de dichos desechos, buscando nuevas alternativas para la disposición, el aprovechamiento y uso adecuado de estos.
- Establecer programas de vigilancia y control para estas actividades así como medidas de sanción.
- Dar a conocer de forma masiva entre la comunidad en general esta problemática ambiental con el fin de general conciencia ambiental y de esta forma en los espacios académicos motivar para la generación de estudios e investigaciones encaminadas a la búsqueda de soluciones a este problema.
- Mayor compromiso de parte de las autoridades y de los entes legisladores con el tema ambiental con el fin de promover leyes encaminadas a la protección ambiental y a la solución de estos problemas, las cuales han de ser eficaces y que realmente puedan ser cumplidas.
- Minimizar el uso de biomasa como combustible, así como el uso de combustibles sin previo tratamiento.

REFERENCIAS

- UNEP Chemicals. Asia Toolkit Project on Inventories of Dioxin and Furan Releases – National PCDD/PCDF Inventories. Geneva, July 2003.
- PNUMA. Directrices sobre Mejores Técnicas Disponibles y orientación provisoria sobre Mejores Prácticas Ambientales según el Art. 5 y el Anexo C del Convenio de Estocolmo. 2004
- Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, Productos Químicos. Instrumental normalizado para la identificación y cuantificación de liberaciones de dioxinas y furanos. Mayo 2003
- Ministerio de Minas y Energía. Unidad de Planeación Minero-Energética. Balance Energético Nacional Año 2002. Colombia. 2003.
- Ministerio de Minas y Energía. Unidad de Planeación Minero-Energética. Memorias al Congreso de la República. Periodo 2002-2003 Anexo Hidrocarburos. Colombia. 2003.
- Cárdenas H., Devia J.R. “Residuos Agrícolas”, en Situación Energética de la Costa Atlántica, Tomo X,

Programa Especial de Energía de la Costa Atlántica – ESENCA Barranquilla. 1989.
- DAMA. Diagnóstico Ambiental sobre el manejo actual de baterías usadas generadas por el mantenimiento del parque automotor de Bogotá. 1999.
- Fiedler H. EPA Dioxin-Reassesment: Implications for Germany, Organohalogen compd. 22, 209-228. Eco Informa Press, Bayreuth, Germany. 1995.
- Proyecto de Norma para Límites Máximos Permisibles de Emisión para Incineradores de Residuos Sólidos y Líquidos. Ministerio del Medio Ambiente. 2000
- Casa Editorial El Tiempo. Colombia Viva. 2000.
- Informe Nacional de liberaciones de Dioxinas y Furanos. Paraguay 2002. Paraguay. 2003.
- Inventario de PCDD/PCDF del año de referencia 2000 de Jordania. 2002.
- Inventario nacional de fuentes y liberaciones de dioxinas y furanos: Cuba, Año 2000, Informe Final. La Habana, Cuba. 2003
- Inventario Nacional de liberaciones de Dioxinas y Furanos Argentina 2001. Argentina. 2002.
- Inventario nacional de liberaciones de Dioxinas y Furanos Uruguay 2000 Informe Final. Uruguay Marzo, 2002.
- Inventarios de Dioxinas y Furanos - Emisiones nacionales y regionales de PCDD/PCDF, Mayo 1999, preparado por Productos Químicos, PNUMA, Ginebra, Suiza.
- US-EPA. The Inventory of Sources of Dioxin in the United States. External Review Draft, 451 p. EPA/600/P-98/002Aa U.S. Environmental Protection Agency, Exposure Analysis and Risk Characterization Group, Washington, D.C. 1998.
- Memorias del Taller “Sub-regional de sensibilización sobre contaminantes orgánicos persistentes”. Cartagena, Colombia, Enero 1998.
- Metcalf & Eddy “Wastewater Engineering, Treatment, Disposal & Reuse”, 1980.
- Primera Comunicación Nacional ante el Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. Colombia. 2001.
- Ulrich, Quan. Fermann, Michael. The European dioxin air emission inventory project-final results. Chemosphere. Vol. 54. Págs. 1319-1327. Germany. 2005.

OBSERVACIONES SOBRE LA RECONSTRUCCIÓN PALEOAMBIENTAL DEL RINCÓN DEL ATUEL

Alejandro García

CONICET – UNSJ (FFHyA) – UNCuyo (FFyL). alegarcia@unsj.edu.ar

Eduardo Martínez Carretero

CONICET – CCT Mendoza (IADIZA). mcarrete@lab.cricyt.edu.ar

Introducción

La reconstrucción de los ambientes pasados, enmarcada en el proceso de comprensión de las interacciones entre el hombre y el medio, ha ganado un lugar cada vez más importante en la arqueología moderna (Butzer 1989, Dincauze 2000). Vinculado con esta tendencia, uno de los aportes más importantes de los estudios desarrollados en la Gruta del Indio (34º 45´ S - 68º 22´ W) fue una aproximación al conocimiento de las condiciones ambientales del área durante el Pleistoceno tardío y Holoceno a través de la realización de análisis polínicos (Lagiglia 1970, D`Antoni 1980, 1983). Los resultados obtenidos han sido utilizados en reconstrucciones paleoclimáticas de mayor escala (e.g. Markgraf 1983, Markgraf et al. 1992). Según la reconstrucción paleoambiental derivada de los estudios palinológicos se observaban importantes cambios en distintos momentos del período analizado, principalmente la sustitución hacia 10 ka AP del predominio de taxa patagónicos por otros correspondientes al Monte. La importancia de esta información se relaciona, más allá de la reconstrucción paleoclimática, con temas como la extinción de la megafauna y la relación entre los cambios ambientales finipleistocénicos y el poblamiento humano temprano.

El estudio de excrementos faunísticos es otra fuente importante de información sobre las condiciones ambientales del pasado (Thompson et al. 1980; Phillips III, 1984, Betancourt et al. 1990, Latorre et al. 2002, Dacar et al. 2001). El registro paleoecológico obtenido en recientes excavaciones estratigráficas en el sitio Gruta del Indio (Mendoza) presenta un conjunto de excrementos único en Sudamérica, debido a la asociación de elementos de micro, meso y megafauna, y a su profundidad cronológica (García y Lagiglia 1999, 2000; Dacar et al. 2001). Las observaciones estratigráficas realizadas en el marco de recientes excavaciones arqueológicas en la Gruta del Indio, y la realización de análisis microhistológicos a un conjunto de muestras de coprolitos de micro-, meso- y megafauna, permiten aportar nuevas precisiones sobre el tema. Como resultado, se propone en esta contribución la conveniencia de incorporar algunas modificaciones a la reconstrucción paleoambiental resultante de la sección del palinograma correspondiente al Pleistoceno tardío. Estos cambios, fundamentalmente vinculados con los supuestos cronológico-estratigráficos que brindaron sustento al esquema tradicional, permitirían retrotraer por lo menos 20 ka el predominio de la vegetación de Monte (Martínez Carretero et al. 2003).

El sitio, material analizado y metodología

Los excrementos analizados provienen de la Capa 3 de la Gruta del Indio (Figura 1), según la estratigrafía expuesta en el sector derecho del sitio por las excavaciones realizadas en las cuadrículas R8 y R9 (García y Lagiglia 2000). La Capa 3 presenta sedimento fino de color marrón con abundantes excrementos de fauna extinta.

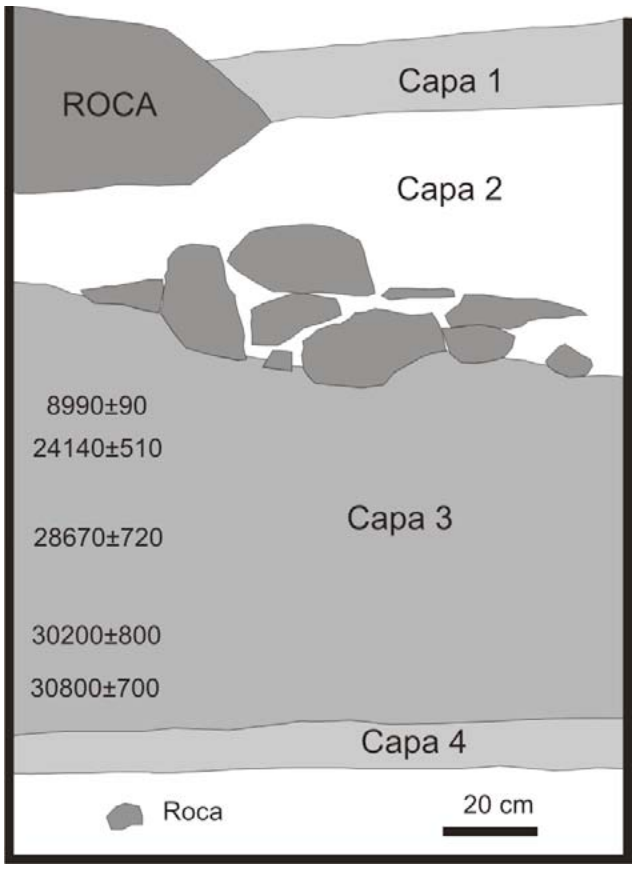


Figura 1: Perfil de las Cuadrículas R8/R9 y ubicación aproximada de los fechados obtenidos (años C14 AP)

Los elementos fueron analizados separadamente y clasificados como proveniente de microfauna (s) -roedores-, mesofauna (m) (Lagidium viscacia) y megafauna (M) (probablemente Hippidion sp.). Se analizaron 5 muestras de excrementos de megafauna de los niveles de excavación 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 y

10; 5 muestras de excrementos de mesofauna de los niveles 4 y 5, y 5 muestras de excrementos de microfauna de los niveles 4, 5, 6 y 8. También se analizaron muestras de madera de los niveles 5, 6 y 7. Para realizar el estudio microhistológico se siguió la metodología propuesta por Dacar y Giannoni (2001). Las muestras microhistológicas vegetales fueron comparadas con materiales del Herbario Ruiz Leal (MERL) y de Geobotánica (IADIZA), y la florula paleobotánica con la florula actual a través del análisis de presencia. Al tratarse de muestras provenientes de dieta de animales y considerando la preferencia de hábitats de cada grupo, el análisis conjunto de los diferentes excrementos, por edad, les confiere un elevado valor muestral. Finalmente, se obtuvieron fechados radiocarbónicos a partir de muestras únicas de excrementos de megafauna, que permiten contar con una cronología aproximada de la Capa 3 (Figura 2).

Nivel	N° Lab.	Edad C^{14}
3		c.>8.000 <8990±90
4		c.>8.000 <8990±90
5	LP 925	8.990±90
6	LP 1075	24.140±510
8	LP 1072	28.670±720
9	LP 929	30.200±800
10	LP 918	30.800±700

Figura 2. Edad C14 de los niveles excavados en la capa 3 de Gruta del Indio

La secuencia polínica del sitio

La reconstrucción ambiental a partir de indicadores polínicos fue realizada en base a una columna sedimentaria de 1,1 m de profundidad en la que se diferenciaron cuatro capas (D`Antoni 1980, 1983). La primera tenía una extensión cronológica de aproximadamente 2 ka (en base a un fechado de 2210±90 C14 AP). La segunda se había formado a lo largo de 7,5 ka. La tercera presentaba una cronología de ca. 10,5 ka, y sus límites estaban brindados por un fechado de 9650±800 y una edad estimada en 20 ka para el inicio de la capa. Entre 20 y ca. 32 ka se habría desarrollado la capa 4.

Según la profundidad y cronología de cada capa, y teniendo en cuenta algunas características especiales (como el rápido crecimiento en el sector de la muestra 13 por la depositación de una tephra y el ajuste cronológico de la capa 3 en el sector de las muestras 14 y 15, correspondientes al depósito de excrementos de Mylodon) se establecieron tasas medias de sedimentación, que indicaban una variación entre las distintas capas y un importante aumento de la tasa de sedimentación durante la segunda mitad del Holoceno tardío (capa 1) - D`Antoni 1980:91-92.

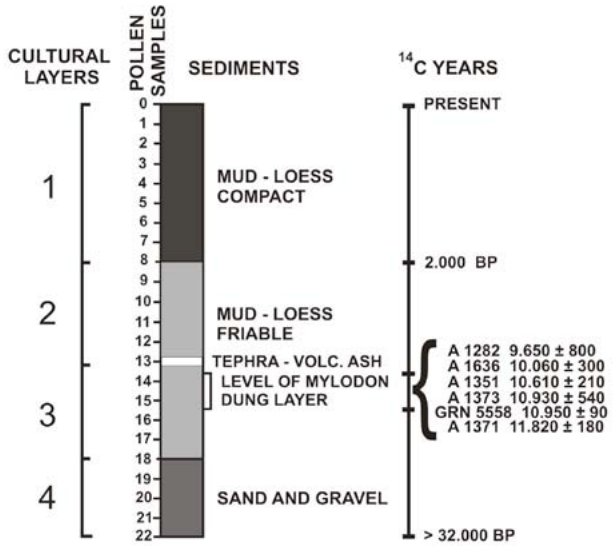


Figura 3: Estratigrafía propuesta por D`Antoni 1980.

Las capas 3 y 4 mostrarían una situación de ecotono de ecosistemas de Monte y Patagonia, con un predominio del componente patagónico. Este predominio se observa claramente en la capa 4 (D`Antoni 1983:101), esto es, entre ca. 32 y ca. 20 ka AP. Dentro de este esquema general pueden observarse algunos cambios. Para el período 32-27,5 ka AP el registro polínico indica un ambiente patagónico; entre 27,5 y 24,5 ka se habría producido un ascenso térmico que favoreció la extensión del Monte, aunque en ecotono con los elementos de Patagonia. Entre 24,5 y 15,5 ka se restableció el predominio patagónico, en condiciones de bajas temperaturas. Entre 15,5 y 12,5 ka se observa una disminución de elementos patagónicos; este período puede considerase como una transición entre el neto dominio patagónico anterior y los cambios observados a partir de 12,5 ka AP, cuando se instala un ambiente de Monte (D`Antoni 1980). Finalmente, la principal variación habría ocurrido hace unos 10 ka AP, cuando se acentuó la presencia del Monte, con dominio de freatófitas en la vegetación riparia (D´Antoni 1983).

Resultados de los análisis microhistológicos y fitosociológicos

El desarrollo de los análisis microhistológicos de las muestras de excrementos recuperadas en las excavaciones arqueológicas y el estudio fitosociológico de las asociaciones florísticas actuales, de donde surge el grado de pertenencia de cada especie a cada asociación, permitieron inferir las posibles asociaciones vegetales a partir de los registros

paleoecológicos, además de ofrecer una nueva aproximación a la reconstrucción de las condiciones paleoambientales del Pleistoceno tardío-Holoceno temprano en la localidad Rincón del Atuel (Martínez Carretero et al. 2003). Lamentablemente en el sector excavado estaba ausente la sedimentación correspondiente al período entre ca. 9 y ca. 24 AP, por lo que resulta difícil evaluar los posibles cambios ambientales durante el mismo. A partir del análisis de presencia, de las bioformas y del esquema sintaxonómico, y considerando el esquema fitogeográfico actual, en los períodos ca. 9 y ca. 24-30,8 ka AP se encuentran especies indicadoras de ambiente cálido y seco del Monte como Prosopis flexuosa var. depressa, Papophorum caespitosum, Capparis atamisquea, Cercidium praecox ssp. glaucum, etc. (Figura Nº 3). Además, dominan por lo general especies con metabolismo C4, es decir, adaptadas a ambientes de mayor temperatura, alta radiación solar y baja disponibilidad hídrica. De los 35 taxa encontrados, considerando la florula actual y la paleobotánica, en 25 se alcanzó el nivel específico (14 de los cuales aparecen en la muestra paleobotánica). De las 25 especies determinadas, el 65% de la flora actual pertenece a la Provincia fitogeográfica del Monte, mientras que en los registros fósiles, en la microfauna el 57%, en la mesofauna el 57% y en la megafauna el 53% pertenecen al Monte, lo que indica un alto grado de similitud entre las condiciones actuales y las inferidas para los períodos arriba mencionados correspondientes al Pleistoceno tardío y a la transición Pleistoceno-Holoceno.

	M3	M4	M5	M6	M8	m4	m5	S4	S5	S6	S8	w5	w6	w7
De la clase Larreetea divaricato-cuneifoliae														
*Ephedra triandra**	.	.	.	.	.	+	.	.	.	.	.	.	.	.
*Larrea divaricata**	.	.	.	.	.	.	+	.	.	.	.	+	+	+
*Lecanophora heterophylla**	.	.	.	.	.	+	.	.	.	.	.	.	.	+
*Senna aphylla**	+	+	+	+	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.
*Prosopis flexuosa depr.**	+	+	+	+	+	.	.	+	+	+	+	+	+	.
*Papophorum caespitosum**	.	.	+	+	+	.	.	+	+	+	+	.	.	.
Acantholippia seriphioides	.	.	+	.	+	.	.	+	.	+	.	.	.	.
*Boutelowa sp**	.	.	.	.	.	.	+	+	.	.	.	.	.	.
*Capparis atamisquea**	.	.	.	+	+	.	+	.	.	.	+	.	.	.
De la clase Mulino-Junellietea														
*Schinus fasciculatus**	+	.	+	+	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.
De la clase Senecio-Proustietea														
*Digitaria californica**	.	+	.	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
*Aristida adsc. ?**	+	.	.	.	.	.	.	.	+	.	.	.	.	.
De la clase Dolichlasietea laqascae														
*Budleja mendocensis**	.	.	.	.	.	.	+	.	.	.	.	.	.	.
*Cercidium praecox**	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+	+
*Hyalis argentea**	.	.	.	.	.	.	.	+	+	.	.	.	.	.
Especies acompañantes														
Ligaria cuneifolia	.	.	.	.	.	.	+	.	.	.	.	.	.	.
Chenopodiaceae	+	+	+	+	+	.	.	+	.	+	.	.	.	.
Chloridea	.	.	+	.	.	.	.	+	+	+	+	.	.	.
Poa ?	.	.	+	.	.	.	.	+	.	+	.	.	.	.
Fabiana sp	.	.	+	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Senecio sp	.	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Lycium sp	.	.	.	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Panicum ?	.	.	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Setaria sp	.	.	.	.	.	.	.	+	+	.	+	.	.	.
Hordeum sp	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+	.	.	.
Stipa sp	.	.	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Bromus sp	.	.	.	.	.	.	.	.	+	.	.	.	.	.

M: Megafauna; m: mesofauna; S: microfauna; w: madera; *: especies megatérmicas

Figura Nº 3: Registro de especies en la muestra de excrementos analizados

Por otra parte, en los niveles 5, 6 y 7 se recuperaron junto con los excrementos restos de maderas de Larrea divaricata, Prosopis flexuosa y Cercidium praecox ssp. glaucum, especies características de clase y de asociación. Según Braun Blanquet (1950, 1979) las especies características son decisivas en la individualidad florística de la comunidad, además de presentar el mayor valor indicador de las condiciones ecológicas de dicha comunidad, es decir de su madurez. Otro aspecto importante a considerar es la presencia de elementos leñosos y de frutos de los mismos, que denotan la madurez de la comunidad al permitir la ecesis.
De acuerdo con estos datos, no se observan cambios vegetacionales significativos en el período analizado. El predominio del Monte se verifica en la zona, quizás con algunas variaciones, durante los últimos 31.000 años, evidenciando condiciones de aridez similares a las actuales, en una geomorfología local similar y con una zonación de la vegetación también similar (Martínez Carretero et al. 2003).

Discusión

El análisis de las diferencias entre las propuestas palinológica y microhistológica puede abordarse en relación a dos aspectos: el cronológico-estratigráfico, y el de la asignación fitogeográfica y significación de las especies registradas.
1) Una fuente de variación corresponde a la cronología de las capas estratigráficas de la gruta (Figura Nº 4). Atendiendo a los datos disponibles en el momento, el sector del palinograma (D`Antoni 1980) correspondiente a la mayor parte del Pleistoceno tardío se basó en una interpolación de edades para la capa 3, cuyo inicio y final eran marcados por dos dataciones de >32.000 y 9.650±800 años AP respectivamente, y en la consideración de una depositación continua del sedimento.
La madera fechada en >32 ka C14 AP estaba asociada a restos de Mylodon, y por lo tanto podría haber sido considerada como correspondiente a la base de la capa 3. Sin embargo, fue considerada como indicadora de la edad del comienzo de la columna sedimentaria estudiada (esto es, de la base de la capa 4). Además, recientes dataciones sobre excrementos de megafauna indican que la edad de la base de la capa 3 es >37.610 años AP (Beta 152.587). Esto significa no sólo que la estratigrafía del sitio tiene más de 32 ka, sino que además no puede asignarse confiadamente ninguna cronología precisa a la capa 4 (que en el estudio palinológico aporta las muestras 19 a 22, y cuyo desarrollo se estimaba entre ca. 32 y 20 ka AP).

Capa	Muestras polen	Cronología D`Antoni	Nueva Cronología
		0	0
1	0 - 8		
		2000	2000
2	9-13		
		9500	9000
3	14-18		****
		20000	>37600
4	19-22		
		32000	?

*Figura Nº 4: Comparación de las cronologías utilizadas en D`Antoni (1980, 1983) y en este artículo. *** = hiatus entre ca. 9/12.000 y ca. 24.000 AP*

Asimismo, la depositación del sedimento no ha sido continua, ya que la estratigrafía observada en las recientes excavaciones (García 2001) y el conjunto de dataciones actualmente disponible (García y Lagiglia 2000, García 2003) señalan la existencia de un hiatus entre ca. 9-12 y ca. 24 ka AP. Además, la depositación del sedimento pleistocénico del sitio tampoco es susceptible de ser traducida en tasas de depositación promedio, ya que los recientes estudios señalan que el espesor de los sedimentos de cada capa presenta variaciones importantes en espacios muy cercanos (García 2001). Este cambio en el marco estratigráfico y cronológico requiere una reelaboración de la interpretación de la secuencia polínica clásica del sitio, ya que: a) las condiciones propuestas para el período 32-20 ka AP en realidad corresponderían a situaciones previas a 37,6 ka AP; b) las condiciones propuestas para el período 20-12,5 ka AP (coincidente con el hiatus estratigráfico) en realidad podrían corresponder a situaciones ubicadas en algún momento entre 37,6 y 24 ka AP.

2) Por otra parte, se observan diferencias en las asignaciones fitogeográficas de las especies del palinograma (D`Antoni 1980; Martínez Carretero et al. 2003). En el palinograma se mencionan como patagónicas a Acantholippia, Aloyssia, Salvia y Thymophylla; sin embargo estos géneros pertenecen al Monte. Schinus y Gutierrezia poseen especies del Monte y Patagonia, por lo que a nivel genérico es difícil su asignación fitogeográfica; sin embargo su coincidencia con géneros megatérmicos lleva a pensar que se trataría también de elementos del Monte. De los otros géneros indicados, sólo Maytenus, de carácter ripario, se considera patagónico. Budleja podría corresponder a B. mendocensis, en general acompañada por elementos más exigentes en temperatura y de ambientes saxícolas; B. nappii, actualmente localizada a 250 km al sur, es patagónica; sin embargo Budleja no aparece en el palinograma acompañada de elementos meso o microtérmicos, por lo que las variaciones indicadas en la interpretación del palinograma no resultarían tan precisas. Con respecto a Prosopis flexuosa, seguramente se trata de la variedad arbustiva P. flexuosa var. depressa, elemento conspicuo del monte ampliamente distribuido por el área de estudio y difícil de diferenciar polínicamente de la variedad típica, P. flexuosa var. Flexuosa, ausente en el área.

Conclusiones

La información proveniente de los análisis microhistológicos de excrementos de fauna finipleistocénica y de las nuevas observaciones estratigráficas y recientes fechados radiocarbónicos obtenidos para el sitio Gruta del Indio permite plantear la conveniencia de realizar ajustes al esquema paleoambiental clásico.

Esta necesidad está motivada por los cambios significativos operados en el marco temporal y estratigráfico utilizado oportunamente y con la interpretación de algunas especies registradas. Dado que las recientes excavaciones y dataciones indican que a gran parte de las muestras de polen de edad pleistocénica no le corresponde la antigüedad originariamente asignada, los resultados de los análisis palinológicos realizados a muestras de la Gruta del Indio deberían ser reinterpretados considerando la información actual sobre la estratigrafía y la cronología del sitio, y de la significación de las asociaciones de especies megatérmicas presentes en el registro, que indican el predominio de condiciones de Monte desde por lo menos ca. 31 ka AP.

Agradecimientos

Las recientes investigaciones en la Gruta del Indio fueron financiadas por la Fundación Antorchas (A-13740/1 - 43 y A-13887 - 35), la Secyt (UNCuyo), el CICITCA (UNSJ) y el CONICET. Los análisis microhistológicos fueron realizados por María A. Dácar (IADIZA-CCT Mendoza).

Referencias

- Betancourt, J.L., Th. Van Denvender, y P. S. Martín (Eds.) 1990. Packrat middens. The last 40,000 years of Biotic Change. University of Arizona Press, Tucson
- Braun-Blanquet, J. 1950. Sociología Vegetal. Estudio de las comunidades vegetales. Acme Agency, New York 1979. Fitosociología. Bases para el estudio de las comunidades vegetales. Blume, New York
- Butzer, K. 1989. Arqueología: una ecología del hombre. Bellaterra, Barcelona.
- D`Antoni, H. 1980. Los últimos 30 mil años en el sur de Mendoza, Argentina. Memorias 86:83-108. III Coloquio sobre Paleobotánica y Palinología. Col. Cient. Prehistoria, SEP INAR. México
- 1983. Pollen analysis of Gruta del Indio. Quaternary of South America and Antarctica Peninsula 1:83-103.

- Dacar, M. y S. M. Giannoni 2001. A simple method for preparing reference slides of seed. Journal of Range Management 54 (2):191-193.
- Dacar, M., C. Borghi, E. Martínez Carretero, S. Giannoni y A. García 2001. Paleodiet of Cavidae Rodents in the Monte Desert of Argentina in the Last 30,000 Years. Current Research in the Pleistocene 18: 95-97.
- Dincauze, D. 2000. Environmental archaeology. Principles and practice. Cambridge University Press, Cambridge.
- García, A. 2001. Estado actual de los estudios sobre el poblamiento temprano del centro de Mendoza. Presentado al XIV Congreso Nacional de Arqueología Argentina, Rosario. 2003. On the coexistence of man and extinct Pleistocene megafauna at Gruta del Indio (Argentina). Radiocarbon. 45 (1):33-39.
- García, A. y H. Lagiglia 1999. A 30,000 year old megafauna dung layer from Gruta del Indio (Mendoza, Argentina). Current Research in the Pleistocene 16:116-118. 2000. Avances en el estudio del registro pleistocénico tardío de la Gruta del Indio (Mendoza). Cuadernos del Instituto Nacional de Antropología y Pensamiento Latinoamericano 18:167-174. Buenos Aires.
- García, A. y E. Martínez Carretero. 2008. Presence of Hiippidion at two sites of western Argentina. Diet composition and contributions for the study of the Pleistocene megafauna extinction. Quaternary International 180: 22-29.
- Lagiglia, H. 1970. Primer diagrama polínico de la estratigrafía arqueológica argentina. Notas del Museo 11. Museo de Historia Natural. San Rafael
- Latorre, C., Betancourt J., Rylander K., Quade J. 2002. Vegetation invasions into absolute desert: A 45,000 yr rodent midden record from the Calama-Salar de Atacama basins, northern Chile (lat 22º - 24º S). GSA Bulletin 114 (3):349-366.
- Markgraf, V. 1983. Late and Postglacial Vegetational and Paleoclimatic Changes in Subantartic, Temperate, and Arid Environments in Argentina. Palynology 7:43-70.
- Markgraf, V., J.R. Dodson, A.P. Kershaw, M.S. McGlone, y N. Nicholls 1992. Evolution of late Pleistocene and Holocene climates in the circum-South Pacific land areas. Climate Dynamics 6: 193-211.
- Martinez Carretero, E., A. García, C. Borghi y M. Dacar 2003. Late-Pleistocene environment of central-southern Mendoza (Argentina) from micro- meso-, and megafauna coprolites. Ms
- Phillips III, A. 1984. Shasta ground sloth extinction. Fossil packrat midden evidence from the western Grand Canyon. En: S. Martin, P y R. Klein (Eds.) Quaternary extinctions. A prehistoric revolution, pp. 148-158. The University of Arizona Press, Tucson.
- Thompson, R.S, T.R. Van Devender, P.S. Martin, T. Foppe, y A. Long 1980. Shasta ground sloth (Nothotheriops shastense Hoffstetter) at Shelter Cave, New Mexico: environment, diet, and extinction. Quaternary Research 14:360-376.

ZONIFICACIÓN DE LA LÁMINA DE ESCORRENTÍA EN LA CUENCA DEL ARROYO PILLAHUINCO GRANDE. BUENOS AIRES

Gaspari, F.J. (1),
Senisterra, G.E. (1),
Delgado, M.I. (1,2),
Rodriguez Vagaría, A.M. (1)
Besteiro, S.M. (3)

(1) Cátedra de Manejo de Cuencas Hidrográficas, Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, UNLP Diagonal 113 Nº 469, 3º piso, La Plata, Buenos Aires. E-mail: fgaspari@agro.unlp.edu.ar

(2) Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas.

(3) Agencia Nacional de Promoción de Ciencia y Tecnología.

Palabras Clave

- Escorrentía
- L-Thia,
- Pillahuinco Grande

Resumen

La aplicación del modelo hidrológico LThia (Long-Term Hydrologic Impact Assessment), con apoyo en la metodología del número de la curva (NC) del Soil Conservation Service (SCS) de los Estados Unidos, es empleado para transformar la precipitación total en precipitación efectiva, constituyéndose en una herramienta de gran valor para realizar estudios hidrológicos en cuencas hidrográficas, en las que no se cuenta con registros lo suficientemente extensos y confiables. La aplicación de esta metodología requiere del conocimiento del tipo y uso de suelo de la cuenca en estudio, así como de registros de precipitación, generalmente más abundantes, en estaciones cercanas a ella. El presente estudio se desarrolló en la cuenca hidrográfica del Arroyo Pillahuinco Grande. A partir de la identificación de los diversos tipos de cobertura sobre imágenes LANDSAT, se determinó el uso del suelo y posteriormente el grupo hidrológico. El análisis subsiguiente de la interrelación de estos componentes, a través del LThia, permitió obtener el valor de NC para la zona de estudio. El procesamiento digital de la base de datos vectorial fue rasterizada de forma automática con aplicación de herramientas del sistema de información geográfica (SIG). Los resultados se exponen a nivel diagnóstico y zonificación del NC. El factor de cobertura vegetal y uso del suelo y la presencia de roca en superficie en el área serrana, presentan mayor influencia sobre la lámina de escorrentía obtenida, siendo la mayor lámina en la zona urbana, debido a la falta de infiltración que caracteriza ese ambiente.

Introducción

La escorrentía se puede definir como la cantidad de agua de una tormenta que drena o escurre sobre la superficie del suelo a velocidades diferentes ocasionando los mayores problemas en el manejo de cuencas. La búsqueda de metodologías que permitan una representación mas simplificada del comportamiento de los componentes del ciclo hidrológico y sus interrelaciones, es un objetivo principal en las investigaciones hidrológicas (Bustamante, 1984)

Los métodos para estimar la escorrentía a partir de la precipitación tratan de descontar de la lluvia caída sobre una cuenca, todas aquellas pérdidas que se deben a factores tales como la infiltración, la evapotranspiración, la intercepción y el almacenamiento superficial. El procedimiento más generalizado y fácil de adaptar a cualquier región es el método del número de curva (NC) desarrollado por el Servicio de Conservación de Suelos (SCS) de Estados Unidos (1972).

La región en estudio se encuentra ubicada en el sistema serrano De La Ventana, en el suroeste de la provincia de Buenos Aires, abarcando la cuenca del Arroyo Pillahuinco Grande. La cabecera se localiza en el sector sudeste de la sierra de Pillahuincó, El curso de agua principal tiene dirección este-oeste y una longitud de 120,5 km. Posee una superficie de 109350 has y se encuentra dentro del partido de Coronel Pringles. El desnivel varía entre las cotas de 650 m.s.n.m en la cabecera, y de 125 m.s.m.m en la desembocadura.

El clima de la región es templado, sub-húmedo, con temperaturas moderadas y alta variabilidad. Las lluvias se originan en los sistemas frontales, por la acción de masas de aire provenientes de los océanos Pacífico y Atlántico. En líneas generales, los valores medios de la precipitación en la cuenca y su distribución a lo largo del año resultan suficientes para satisfacer las necesidades de la mayoría de los cultivos a lo largo del año. Sin embargo se presentan períodos mensuales de sequías que, cuando coinciden con los periodos de mayor exigencia en agua de los cultivos, inciden en forma negativa en las cosechas, lo que produce que se utilice en algunos sectores del partido sistemas de riego suplementario (Gaspari y Rodríguez Vagaría, 2006).

La cuenca abarca una región que presenta un marcado dimorfismo topográfico, presentando un área serrana con elevaciones entre 250 y 650 m.s.n.m. y otra de llanura que alcanza una cota de aproximadamente 125 m.s.n.m. en su desembocadura,que comprende la mayor superficie de la cuenca.

Fitogeográficamente, se encuentra en la Región Neotropical, Dominio Chaqueño, Provincia Pampeana, Distrito Pampeano Austral. La fisonomía dominante en la región es el pastizal, cuyas están comunidades dominado por arbustos, aparentemente relacionados a áreas con pastoreo excesivo, y suelos erosionados, principalmente en forma natural (Frangi y Bottino, 1994).

El impacto del ganado decrece con la altitud, y la invasión con arbustos es menor en suelos profundos no pedregosos, por ello, las comunidades arbustivas son mas frecuentes en las partes inferiores de los faldeos y en las divisorias de agua secundaria bajas. Estas zonas también se denominan de agricultura en derrame.

Dentro de las comunidades presentes en la zona serrana interesan particularmente, las praderas y los pastizales de altura. Las praderas se ubican desde las zonas que limitan con los cultivos realizados por el hombre en la parte baja de los faldeos hasta donde la pendiente permite el ascenso del ganado. La actividad forestal es complementaria a la actividad agropecuaria, en forma de cortinas rompevientos, montes de reparo y sombra.

El uso del suelo con actividad antrópica está representado por un ambiente serrano, donde las modificaciones se deben principalmente a la introducción de especies vegetales para la producción agropecuaria, pastoreo de animales silvestres y domésticos introducidos, usos del fuego, forestaciones, extracción de especies de interés en florería y el trazado de caminos y sendas (Spinelli Zinni, 1970; Gaspari, 2000).
El sistema de producción actual es esencialmente mixto, basado en una ganadería vacuna que se orienta desde la cría a invernada aprovechando la cobertura natural para la alimentación del ganado durante el periodo invernal. En los últimos años la agricultura parece expandirse, obedeciendo a factores tecnológicos, económicos y climáticos. Esta situación, que en muchos casos significa el uso de los suelos por encima de su aptitud productiva y en detrimento de su potencial de producción, puede conducir a un grave deterioro de los mismos y sin duda constituye uno de los problemas prioritarios a enfrentar. En la cuenca se realiza una importante actividad agrícola–ganadera En la zona más alta de la cuenca se encuentran algunas forestaciones con forma de cortina, ubicadas sobre las sierras. Además presenta una región agrícola ganadera, que realizan cultivos de soja, maíz, girasol, entre otros, siendo una zona triguera. En la parte centro-oeste se concentra una importante actividad ganadera, dominada por el ganado vacuno.

El objetivo del trabajo fue zonificar, en la cuenca del Arroyo Pillahuinco Grande, la escorrentía que genera una precipitación modal a través del modelo LThia (Long-Term Hydrologic Impact Assessment).

Materiales y métodos

El procedimiento de estudio de la cuenca, consistió en detectar y examinar los factores que inciden sobre la zonificación de la lámina de escorrentía. Se inició caracterizando el ambiente e identificando las problemáticas como ser geomorfología, suelos, cobertura vegetal, meteorología.

El estudio de caudales líquidos de la cuenca fue generado por medio de una simulación hidrológica geoespacial, estableciendo una base de datos de relación lluvia–escorrentía. Para el análisis hidrológico de la cuenca, se implementó la metodología del NC del SCS. Es un método empírico para el cálculo de la transformación de lluvia-escorrentía, que surgió de la observación del fenómeno hidrológico en distintos tipos de suelo, en varios estados y para distintas condiciones de humedad antecedente. Para ello se estableció una clasificación de los complejos hidrológicos a los que asignó una capacidad de infiltración (Chow et al, 1994; López Cadenas de Llano, 1998).

La zonificación de la lámina de escorrentía en la Cuenca del Arroyo Pillahuinco Grande, se generó utilizando el modelo LThia bajo un entorno de Sistema de Información Geográfica (S.I.G). Este módulo, permite predecir la escorrentía de una manera sencilla, por medio del modelo hidrológico del NC. Este método se basa en la estimación directa de la escorrentía superficial de una lluvia aislada a partir de características del suelo, uso del mismo y de su cubierta vegetal y condiciones de humedad antecedente. Es empleado para transformar la

precipitación total en precipitación efectiva, constituyéndose en una herramienta de gran valor para realizar estudios hidrológicos en cuencas hidrográficas, en las que no se cuenta con registros lo suficientemente extensos y confiables.

El método se basa en que las combinaciones del grupo de suelo-vegetación de características semejantes, responderán de manera análoga bajo el efecto de una tormenta de intensidad variable. A mayor valor de Número de Curva, las condiciones de escorrentía son más críticas, es decir, los valores de infiltración son menores.

El NC consiste en la relación entre la precipitación (P) y el exceso de precipitación o escorrentía directa (Pe) a partir de una familia de curvas que fueron estandarizadas para definir un número adimensional. El NC varía de 1 a 100, según sea el grado de escorrentía directa. Un valor igual a 1, indica que toda la lluvia infiltra y de 100, representa que toda la precipitación escurre (Gaspari et al., 2007).

El número de curva de la cuenca se obtiene como media ponderada (NCp), a través de la siguiente fórmula:

NCp = ∑ NCi x Si/ S
S = Superficie total de la cuenca.
Si= Superficie afectada por el número de curva NCi.

La aplicación del LThia permite zonificar a una escala de píxel el NC, favoreciendo la precisión geoespacial para la determinación de la lámina de escorrentía.
A partir de la zonificación del NC, se calculan las pérdidas iniciales (Po), según la siguiente fórmula:

Po = 254 (100 / NC - 1) = 0,2 S (mm)

Con Po y una lluvia P, se obtiene la precipitación efectiva (Pe).

Pe = (P - Po)2 / (P + 0,8 x Po) (mm)

De esta forma se determina la escorrentía superficial (Pe) que se produce con una lluvia P de características modales normales en la cuenca.
El empleo del software requiere como base digital un modelo cartográfico que consta de cartografía de grupos hidrológicos de suelo y mapa de uso de la tierra en formato vectorial, y una precipitación modal del área de estudio en formato texto.
La clasificación en grupos hidrológicos está basada en características texturales o de permeabilidad del suelo según:

- Grupo A: Son suelos profundos, sueltos con predominio de arena y grava. Este grupo es el que ofrece menor escorrentía. Incluye suelos que presentan mayor permeabilidad, incluso cuando están saturados. Comprende los terrenos profundos, sueltos, con predominio de arena o grava y con muy poco limo o arcilla.
- Grupo B: Incluye los suelos de moderada permeabilidad cuando están saturados, comprendiendo los terrenos arenosos, menos profundos que los del grupo A, aquellos otros de textura franco-arcillosa y de mediana profundidad y los francos profundos.
- Grupo C: Incluye los suelos que ofrecen poca permeabilidad cuando están saturados, por presentar un estrato impermeable que dificulta la infiltración o porque en su conjunto su textura es franco arcillosa o arcillosa.
- Grupo D: Este grupo genera la mayor escorrentía, incluye los suelos que presentan gran impermeabilidad tales como terrenos muy arcillosos, o con un subsuelo muy impermeable cercano a la superficie.

El mapa de uso del suelo y su zonificación en la cuenca del Arroyo Pillahuinco Grande se estableció a partir de las categorías que determina el software LThia (Agua; Agricultura; Residencial Muy Poblado; Población Rural; Pastizal/Pastura; Forestal; entre otros). Estas se zonificaron por reconocimiento a campo y por el procesamiento de análisis de imágenes satelitales con una clasificación supervisada.
La clasificación por NC se estableció según la condición de humedad antecedente del suelo, que incide directamente sobre la cantidad de agua que puede infiltrar en el suelo y en el estado de saturación del suelo. Las condiciones antecedentes de humedad se establecen según la Tabla 1: normales (Condición II), para condiciones secas (Condición I) y para condiciones húmedas (Condición III) se calculan los números de la curva equivalentes.

Clases de condición de humedad antecedentes	Lluvia total de los 5 días anteriores (milímetros)	
I	< 12,7 mm.	< 35,6 mm.
II	12,7 a 27,9 mm.	35,6 a 53,3 mm.
III	> 27,9 mm.	> 53,3 mm.

Tabla 1: Clases de condición de Humedad Antecedente.

La asignación del número de curva se realizó automáticamente a través del procesamiento con el modelo LThia. El mismo, toma la cartografía base en formato vectorial para luego rasterizarla y establecer la modelización hidrológica. El procesamiento se realizó mediante un modelo cartográfico digital, que se sustenta en la superposición de mapas de grupos hidrológicos y uso del suelo en la condición de humedad antecedente II y una precipitación modal. Posteriormente se generó la reclasificación en función de un análisis espacial proporcionando, de esta manera, el mapa de escorrentía media anual.

Resultados y discusión

La cuenca del Arroyo Pillahuinco Grande, presentó un solo grupo hidrológico, B, que incluye suelos de moderada permeabilidad cuando están saturados, comprendiendo los terrenos arenosos menos profundos, conformado por textura franco-limosa.

En la Figura 1 se presenta una composición de bandas satelitales Landsat 7 ETM, escena 226/086 correspondiente a la cuenca del Arroyo Pillahuinco Grande y el sistema de drenaje.

A partir del procesamiento y clasificación supervisada de la imagen, se identificaron cinco clases de uso del suelo como se presenta en la Figura 2.

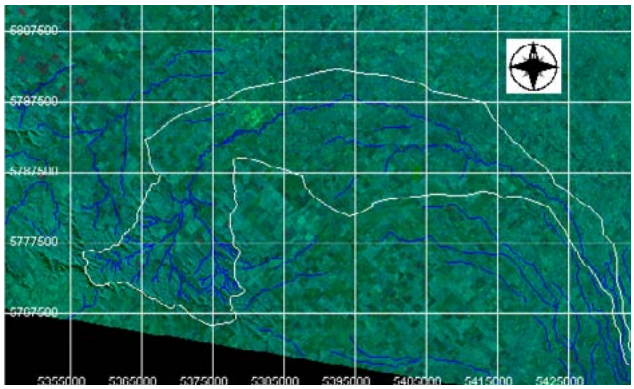


Figura 1. Imagen Satelital de la cuenca del Arroyo Pillahuinco Grande y su sistema de drenaje.

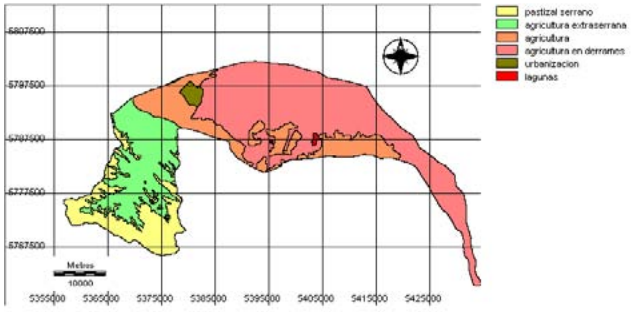


Figura 2. Mapa de usos del suelo en la cuenca realizado a partir de la digitalización de los distintos tipos de vegetación asociada al uso del suelo en particular.

El mapa de cobertura vegetal y uso del suelo permitió establecer una zonificación geoespacial del NC y establecer el porcentaje de ocupación en la cuenca (Tabla 2).
La interpretación de la Figura 2 y la Tabla 2 indica:

- El 14 % de la superficie de la cuenca está cubierto por vegetación de pastos serranos, tanto naturales como cultivados, encontrándose en las partes altas, pequeños bosquetes de vegetación arbustiva densa, con buenas condiciones de humedad. La invasión con arbustos es menor en suelos profundos no pedregosos. Las comunidades arbustivas son mas frecuentes en las partes inferiores de los faldeos y en las divisorias de agua secundaria bajas. En esta zona se realizan actividades agrícolas - ganaderas denominadas en derrame.
- Como se observa, el sistema de producción actual es esencialmente mixto, con un 48% de ocupación. Está basado en una ganadería vacuna que se orienta desde la cría a invernada aprovechando la cobertura natural para su alimentación. Cabe mencionar que la ganadería decrece con la altitud.
- La actividad agrícola sobre los faldeos de la sierra ocupa el 19 % de la superficie de la cuenca, estas áreas presentan una alto potencial de pérdidas de suelos.
- Se identificaron también áreas con uso agrícola donde se practican técnicas convencionales y de siembra directa (17%). La actividad forestal es complementaria a la actividad agropecuaria, en forma de cortinas rompevientos, montes de reparo y sombra.
- Como áreas anexas se identificaron la ciudad de Coronel Pringles y lagunas con menos de un 2% de ocupación.

Tipo de cobertura vegetal y uso del suelo	Superficie ocupada (hectáreas)	Porcentaje de ocupación en la cuenca (%)	NC
Pastizal serrano	15262,5	13,95	58
Agricultura extraserrana	20827,8	19,03	75
Agricultura	18605,9	17,00	78
Agrícola ganadero en derrame	53299,5	48,70	81
Urbanización	1249,8	1,14	85
Lagunas	190,9	0,17	0

Tabla 2: Clases de cobertura vegetal y uso del suelo y su correspondiente NC.

Los valores de NC en la cuenca varían entre 58 y 85, determinado exclusivamente por el uso del suelo (Figura 3). Se observa que fue menor en las partes altas de la cuenca, aumentando hacia la desembocadura del arroyo. El mayor valor hallado corresponde al red urbana (85) con el máximo de escorrentía, y el menor en lagunas (0) donde no se produce escorrentía.

El procesamiento con LThia generó la zonificación de la escorrentía producida por una tormenta modal para la región, de 93 mm, en función del número de curva como lo expresa la Figura 4.

Las áreas de mayor escorrentía corresponden a la ciudad de Coronel Pringles con un valor de 54,8 mm, en la cuenca alta oscilaron entre 13 y 36 mm, y entre 41 y 46 mm para la cuenca media y baja.

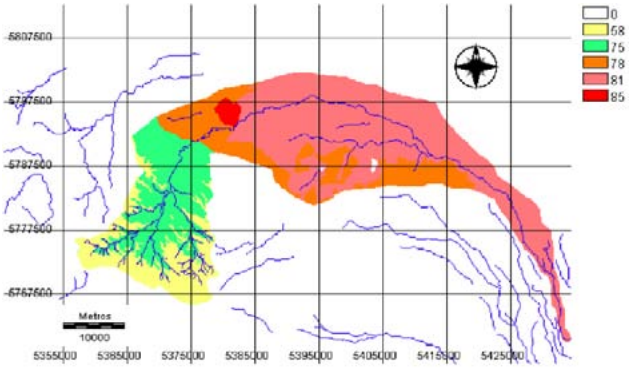


Figura 3. Mapa de número de curva (NC) en la cuenca.

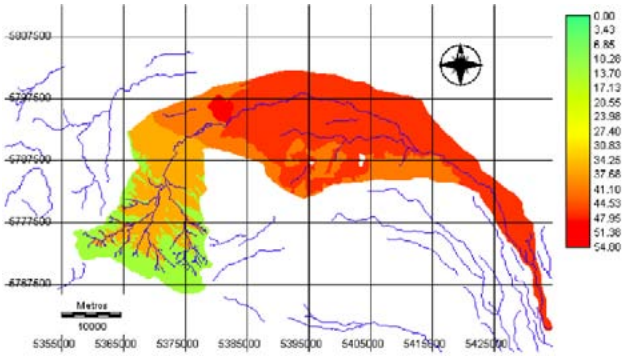


Figura 4. Mapa de escorrentía generada (en mm) por una tormenta de 93 mm.

Conclusión

El uso del modelo LThia permitió zonificar la escorrentía generada en la cuenca del Arroyo Pillahuinco Grande. Ésta se cuantificó a partir de la modelización de una precipitación modal regional de 93 mm. La zonificación permitió la caracterización hidrológica de la cuenca, en forma sencilla y a bajo costo obteniendo una interpretación cartográfica del fenómeno de escorrentía y su distribución espacial.
Como se observa en el presente trabajo, la utilización del modelo, con aplicación del método del número de curva es simple, debido a que se con datos de suelo y de vegetación, que generalmente son de fácil acceso y disponibilidad, se pueden obtener resultados fiables.

La utilización de este modelo proporcionó una cuantificación y zonificación de la escorrentía superficial, a partir de la precipitación caída sobre la cuenca. El análisis de la respuesta hidrológica en la condición actual, la cartografía y la caracterización ambiental facilitan y acompañan la toma de decisiones para la definición de potenciales medidas de restauración agro-hidrológicas coherentes con el tipo de producción actual que tiendan a disminuir la escorrentía total superficial.

Bibliografía

- Bustamante, E. 1984. Hidrología. Conceptos de hidrología de superficie. Modelos matemáticos determinísticos. CIHSA. Vila Carlos paz. Córdoba. Argentina. 247 pp
- Chow, Ven Te, Maidment, David y Mays, Larry. 1994: Hidrología Aplicada. Santa Fe de Bogotá, Colombia, editorial Mc GrawHill. 584 pp.
- Frangi, J. y O. Bottino. 1994. Comunidades de Sierra de La Ventana, Bs. As., Arg. Revista de la Facultad de Agronomía de La Plata, Tomo 71(1), 93-133.
- Gaspari, F. J. 2000. Ordenamiento territorial en Cuencas Serranas Aplicación de sistemas de información geográfica (SIG). Ediciones Cooperativas. Bs. As.: 116 pp.
- Gaspari, F. J. y A.M. Rodríguez Vagaría. 2006 Zonificación ambiental de la cuenca del arroyo Pillahuinco Grande. XI Reunión Argentina de Agrometeorología. Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales. U.N.L.P. La Plata.
- Gaspari, F.J, Senisterra, G.E y R. M. Marlats. 2007. Relación precipitación - escorrentía y número de curva bajo diferentes condiciones de uso del suelo. Cuenca modal del sistema serrano de La Ventana, Argentina. Rev. FCA UNCuyo. Tomo XXXIX. N° 1. Pp21-28.
- L-Thia GIS Users manual Version – 2 .3 (Long-Term Hydrologic Impact Assessment and Non Point Source Pollutant Model) 2005. Purdue University. 46 pp.
- López Cadenas de Llano, F. 1998. Restauración hidrológico forestal de cuencas y control de la erosión. Ed. TRAGSA. Madrid. 945 pp.
- Mintegui Aguirre, J. A. & F. López Unzu.. 1990. La Ordenación Agrohidrológica en la Planificación. Servicio Central de Publicaciones del Gobierno Vasco. Madrid. pp 308.
- Spinelli Zinni, F. 1970. Estudio de situación del Partido de Coronel Pringles. Tomo III. 92 pp.

VARIACIONES DE LOS NIVELES DEL SISTEMA LACUSTRE PUEYRREDÓN - POSADAS - SALITROSO EN RELACIÓN AL CALENTAMIENTO CLIMÁTICO DEL PLEISTOCENO TARDÍO-HOLOCENO

Luis R. Horta(1-2);
Carlos A. Console Gonella(1-3);
José Busnelli (1);
Carlos A. Aschero(1-2);
Sergio M. Georgieff(1).

(1) Universidad Nacional de Tucumán, Facultad de Ciencias Naturales e I.M.Lillo, Miquel Lillo 207 CP:4000, San Miguel de Tucumán, Tucumán, Argentina.- hluisth@hotmail.com

(2) ISES-CONICET.

(3) INSUGEO-CONICET.

Introducción

El estudio de las variaciones de los niveles lacustres es parte del análisis para la realización de una reconstrucción paleoambiental y a su vez del estudio de las variaciones climáticas de una región.

Entre 13.200 y 7.800 años AP, Pleistoceno Tardío–Holoceno Temprano, se formaron grandes lagos en la Patagonia Andina Argentina como resultado del aumento de la temperatura, lo que produjo el descongelamiento acelerado de la región y el retroceso de los glaciares hacia las altas cumbres de las montañas. (Tatur et al. 2002).

Los lagos actuales de la Patagonia y también los que existieron en el pasado (paleolagos) pueden ser divididos en dos tipos básicos, el primero de los cuales es de naturaleza pluvial, con rasgos que reflejan el desarrollo del lago en condiciones húmedas y dentro de cuencas cerradas, sin efluentes permanentes, las cuales están incluidas en un contexto regional mayormente seco. El segundo tipo incluye lagos de naturaleza verdaderamente glacial, con sus aguas embalsadas entre glaciares y morenas terminales depositadas durante el retroceso de los hielos. El exceso de agua en ambos tipos de lagos es drenado comúnmente a través de canales fluviales transitorios y ríos permanentes, respectivamente (Clapperton 1993).

Los depósitos lacustres pueden quedar registrados en cualquier sección de una columna estratigráfica continental. Sin embargo, para que ello suceda deben conjugarse una serie de fenómenos de índole climática, sedimentaria y/o tectónica que permitan la conformación de una cubeta deprimida que sirva de nivel de base transitorio a una red de drenaje. Para que se forme una cuenca lacustre es necesario que el área de sedimentación quede afectada por fenómenos tectónicos (de subsidencia), volcánicos, climáticos, sedimentarios (movimientos de remoción en masa o glaciales que con sus depósitos provoquen el endicamiento de la red de drenaje, así como procesos de sedimentación costera y fluvial que puedan originar cubetas aisladas) o erosivos (acción glacial, eólica y fluvial).

Objetivo

El estudio de las variaciones de los niveles lacustres permitirá caracterizar el paleoambiente sedimentario, su evolución, y la relación existente con los sitios Milodón Chico, Posadas Norte y Alero Inclinado para el lapso 11.000 y 2.500 AP, a partir de la integración de información estratigráfica, sedimentológica y geomorfológica, lo que permitirá inferir la conexión del sistema lacustre Pueyrredón–Posadas–Salitroso y en relación al calentamiento climático del pleistoceno tardío-holoceno

Materiales y Métodos:

El lago Pueyrredón (Fig 1) está ubicado en el noroeste de la provincia de Santa Cruz (departamento Río Chico, República Argentina); en el sector norte del Parque Nacional Perito Moreno, a 73 km de Bajo Caracoles y 100 km, al Sur de Los Antiguos. Se puede acceder al área por la RN 40 y Ruta Provincial 1209 (desvío en Bajo Caracoles). La cuenca del lago Pueyrredón se encuentra limitada al noroeste por la Sierra Colorada, al este por el Macizo de San Lorenzo y el Cerro Belgrano (2305m) al sur y al oeste por los cerros San Lorenzo (3706m) y Las Chivas (1804m), el límite internacional, el lago Cochrane y el Cerro Principio (1278m).

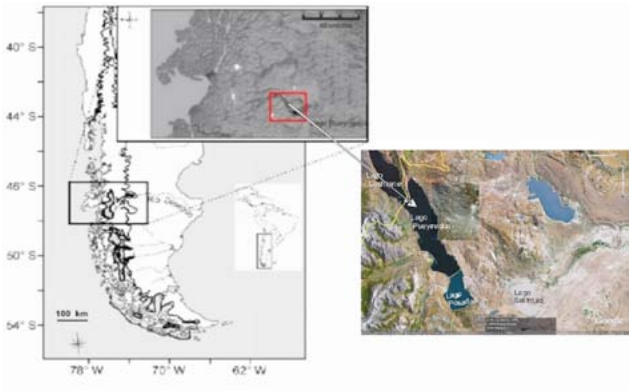


Figura 1. Ubicación del área propuesta, Lago Pueyrredón, Provincia de Santa Cruz.

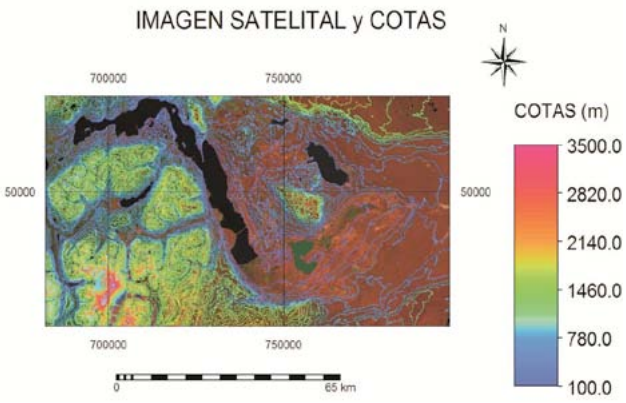


Figura 3: Imagen Satelital con las cotas del área de estudio.

A partir de un extenso relevamiento del área utilizando GPS, a escala 1:20000, se identificaron los niveles sedimentarios mejor expuestos. Posteriormente se eligieron tres sectores en los cuales se describieron perfiles estratigráficos de detalle. Para cada punto estación se efectuó un muestreo sedimentos y rocas volcánicas.

En una etapa posterior de gabinete se elaboró un mapa geológico (figura 2), el cual fue corregido mediante la utilización de fotos aéreas, cartas topográficas del IGM y la Hoja Geológica 4772-III-IV del SEGEMAR (Giacosa et. al. 2001).

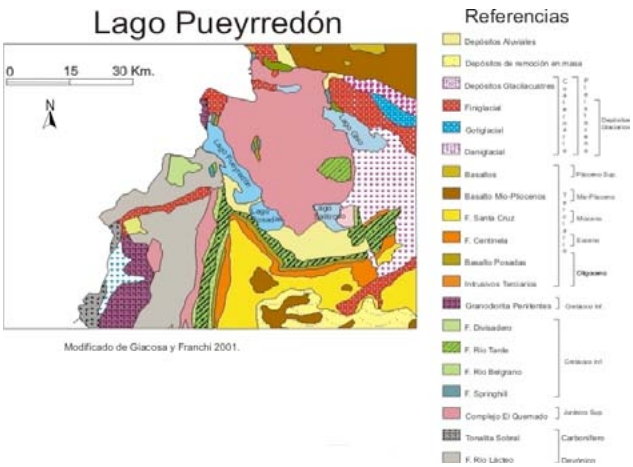


Figura 2: Mapa geológico del área de estudio.

Además se realizó una cartografía geomorfológica del área a partir de criterios morfogenéticos (Van Zuidam y Van Zuidam Cancelado, 1986), mediante interpretación de imágenes de satélite (Landsat 7 ETM) a partir de un Sistema de Información Geográfico, el Ilwis (desarrollado por el ITC-International Institute for Geo-informatics and Earth Observation, de Holanda). Se utilizo la combinación de bandas 741 para realizar un mapeo de las geoformas características del área de estudio. Por otro lado, se analizó el relieve actual y pasado a partir de las características topográficas del relieve determinadas por modelos de elevación digital (DEM) extraídos del SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) (figura 3).

Las muestras fueron descriptas petrológicamente utilizando microscopio estereoscópico binocular (Lupa).
Se realizaron análisis texturales de las muestras de sedimentos obtenidas. Fueron realizados mediante el método del tamizado, siguiendo la metodología propuesta por Krumbein y Pettijon (1938), utilizando un tamizador tipo vibrador, tamices Tyler y una balanza electrónica marca Mettler de 5 dígitos de precisión.

Resultados

A partir del procesamiento de las imágenes de satélite (Landsat 7 ETM), con la combinación de bandas 741 se construyo un mapa de las geoformas (Figura 4), donde puede observarse que la zona está caracterizada por un ambiente glacial de retroceso y periglacial con geoformas propias, como glaciares relictos en retroceso en las zonas cumbrales, lagos glaciares, antiguos niveles de inundación de los lagos asociados a sucesiones de períodos glaciares e interglaciares, valles en U y colgados, entre otras.

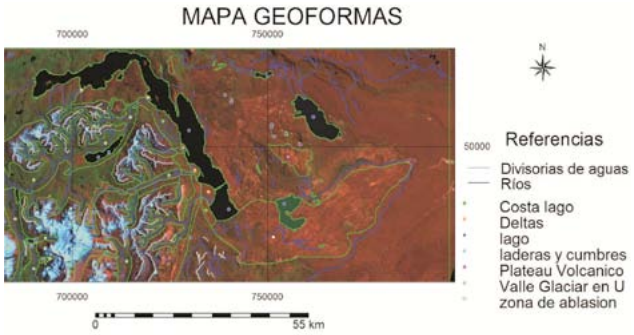


Figura 4: Mapa de geoformas.

El área estudiada se dividió en tres sectores en función del grado de exposición de los niveles aflorantes y de la proximidad a los sitios arqueológicos Milodón Chico, Alero Inclinado y Posadas Norte. Los puntos muestreados (Figura 5), corresponden a sitios arqueológicos.

Figura 5: Imagen de los puntos de muestreo, costa noreste del Lago Pueyrredón.

La cota más alta con niveles lacustres corresponde al punto denominado Milodón Chico 297 msnm, donde se encontraron niveles limo arcilloso durante la excavación del sitio arqueológico a una profundidad de entre 44 y 54 cm, estos niveles poseen una inclinación de 10° NE. Presentan laminación plano paralela son de color amarillo grisáceo y gris amarillento. El espesor del nivel de sedimentos limo arcillosos que se logro observar es de 20 cm, pero no se llego hasta el fondo (figura 6).

Figura N° 6: Excavación Milodón Chico. La escala que se observa dentro de la excavación es de diez cm, la flecha en color naranja indica en el Norte.

El punto Alero Inclinado se encuentra a 190 msnm. En este punto se encontró una secuencia compuesta por una vulcanita de 50 cm de espesor aflorante, sobre la cual se depositaron niveles diamictiticos de 65 cm, de color gris anaranjado y naranja muy pálido, de matriz limosa (matriz soportante), presenta clastos subredondeados a subangulosos que varían de 3 a ½ cm; el cemento es carbonatico. Por encima de estos niveles de diamictitas se describieron una alternancia de laminas de 1 a 2 cm, limo-arcillosas de color amarillo grisáceo que intercalan con niveles arenosos de color amarillo grisáceo y aceituna pálido, el espesor total de este paquete es de 15 cm (figura N° 7, 8 y 9).

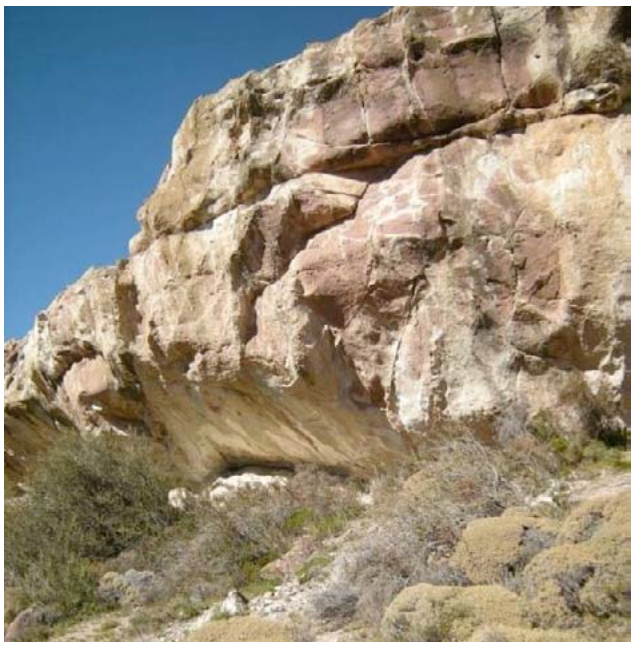


Figura 7: Vista general hacia él SE del sitio Alero Inclinado.

Figura 8: Vista en dirección SE, detalle del Perfil en el sitio Alero Inclinado, las líneas naranjas separan las vulcanitas (a) de los depósitos diamictiticos (b) y las diamictitas de los sedimentos limo arcillosos (c). Los sedientos limo arcillosos presentan 15 cm de espesor.

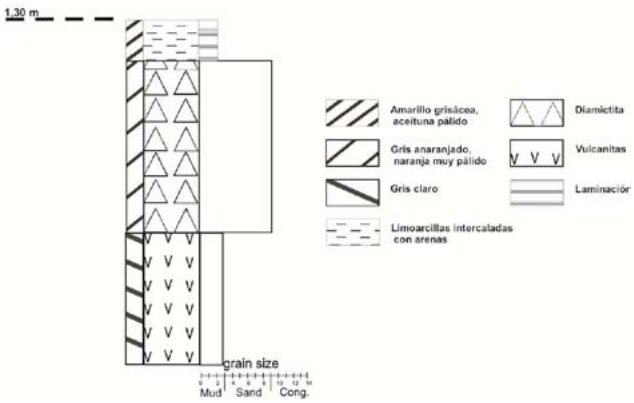


Figura 9: Perfil Alero Inclinado.

Posadas Norte (figura 10) se encuentra a 180 msnm, consiste de intercalaciones de niveles limo-arcillosos con niveles de arenas finas a muy finas (figura 11). Los niveles limo-arcillosos

son de color amarillo grisáceo y gris amarillento, las laminas van de 1 a 3 mm de espesor. Estos alternan con niveles de arenas finas a muy finas de color amarillo grisáceo, de 2 a 5 mm de espesor. El espesor total del paquete de sedimentos es de 58 cm, presenta una inclinación de 23° E y un el rumbo de la laminación es N/S.

Figura 10: Niveles pelíticos en Posadas Norte, se destacan en negro, algunas de las laminaciones, el espesor del paquete de sedimentos es de 58 cm e inclina 23° hacia el este.

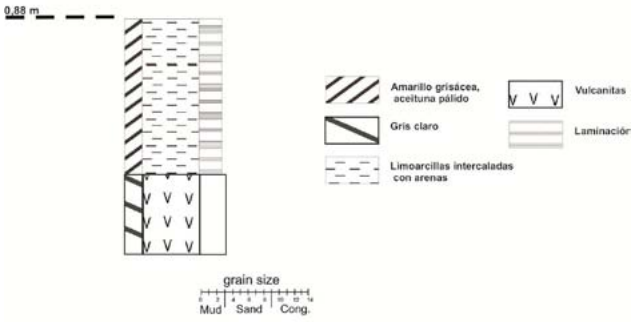
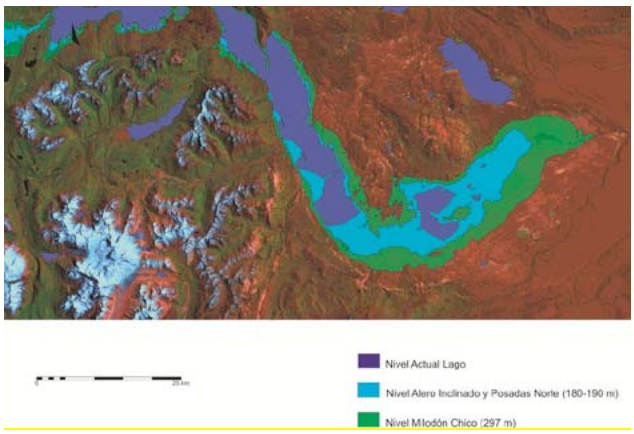


Figura 11: Perfil Posadas Norte.

Los niveles limoarcillosos (Milodon Chico) y limoarcillosos intercalados con arena finas a muy finas (Alero Inclinado y Posadas Norte) corresponden a niveles paleocostas los cuales indican la retracción del lago actual. El nivel actual del lago se encuentra a 150, por lo cual se estima que el lago habría alcanzado como mínimo un nivel de 297 msnm (figura12).

Discusión

La reconstrucción paleoambiental del área de estudio posibilitaría inferir una conexión entre los Lagos Pueyrredón, Posadas y Salitroso para el lapso comprendido entre 11.000 y 2500 AP. El escenario regional en crisis después de la última glaciación se vio profundamente afectado por cambios geomorfológicos mayores derivados del calentamiento climático que produjo la desglaciación de una gran parte de la Patagonia entre el Pleistoceno Tardío y el Holoceno Temprano.



(Abajo) Figura 12: Áreas Inundadas, en azul se muestra el área ocupada por el niel actual, en celeste para el nivel correspondiente a los sitios Alero inclinado y Posadas Norte (180-190 m), y en verde el área correspondiente nivel correspondiente al sitio Milodon Chico (297m).

Los cambios mayores en la morfología del paisaje patagónico durante este lapso fueron el retroceso de los hielos y la consecuente génesis, desarrollo y desintegración de los grandes lagos que existieron al este de los Andes (Dell Valle et al. 2007). Aschero et al. (1998) sugieren que un proceso de calentamiento climático y cambio de drenaje similar al descrito ocurrió durante la transición Pleistoceno/Holoceno, hace unos 10 ka, esta vez a unos 6-7° de latitud hacia el sur del Comahue, en la región andina de la provincia de Santa Cruz, donde se había formado un extenso paleolago denominado Caldenius (47-48 S).

Conclusiones

El calentamiento climático en la región produjo el retroceso de las grandes masas de hielo. El mismo evento de deglaciación, fruto del calentamiento climático produjo la retracción de los Lagos la cual quedo reflejada en los registros de los antiguos niveles lacustres encontrados en el área. Los lagos Pueyrredón, Posadas y Salitroso habrían estado conectado, teniendo en cuenta que el nivel del sistema lacustre habría estado como mínimo 147 m por encima del nivel actual.
El paisaje es el resultado del modelado glacial al que se sobreimpone posteriormente la acción fluvial y lacustre.
Los cambios mayores en la morfología del paisaje patagónico durante este lapso fueron el retroceso de los hielos y la consecuente génesis, desarrollo y desintegración de los grandes lagos que existieron al este de los Andes.

Agradecimientos:

Los autores agradecen al Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET) por su apoyo financiero. A los Arq. Teresa Civalero, Damián Bozzuto y Marian Sacchi por su colaboración en las tareas de campo. También se agradece a Noelia Maza por su lectura crítica. Finalmente para todos los integrantes del ICES (International Center of Earth Sciences) nodo Malargue, por la organización del 5 encuentro internacional.

Referencias:

- Aschero, C.A., Goñi, R.A., Civalero, M.T., Molinari, R.L., Espinosa, S.L., Guraieb, A.G. y Bellelli, C.I. 1998. Holocenic Park: Arqueología del Parque Nacional Perito Moreno (PNPM). Anales de la Administración de Parques Nacionales 17: 1-64.
- Clapperton, C.M. 1993. Quaternary Geology and Geomorphology of South America. Elsevier, 768 p., Amsterdam.
- del Valle, R.A., Tatur, A. y Rinaldi, C.A. 2007. Cambios en lagos y circulación fluvial vinculados al calentamiento climático del Pleistoceno tardío-Holoceno temprano en Patagonia e isla 25 de mayo, islas Shetland del Sur, Antártica. Rev. Asoc. Geol. Argent. v.62 n.4 Buenos Aires.
- Krumbein, W.C. and Pettijohn, 1988. Manual of sedimentary petrology, SEPM, Reprin series N1, 13, 549 pág (original, 1938).
- Giacosa R., y Franchi M. 2001. Hojas Geológicas 4772-III y 4772-IV.
- Lago Belgrano y Lago Posadas, Provincia de Santa Cruz. SEGEMAR. Boletin Nº 256. Buenos Aires - 2001.
- Tatur, A., del Valle, R.A., Bianchi, M.M., Outes, V., Villarosa, G., Niegodzisz, J. y Debaene, G. 2002. Late Pleistocene palaeolakes in Andes and Extra-Andean Patagonia at mid-latitudes of South America. Quaternary International 89: 135-150.
- Van Zuidam, R., and Van Zuidam Cancelado, F. I.; 1986. Aerial Photointerpretation in terrain analysis and geomorphological mapping. Smits Publishers. 443 pp.

APROVECHAMIENTO ENERGÉTICO EN INSTITUCIÓN EDUCATIVA A PARTIR DE LA TRANSFORMACION DE RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS EN BIOGÁS

Indiveri, M.E. (1)(2),
Atem, A.D. (1)(2)(3)(4),
Hernandez, J.F. (1) ,
Mansegosa, D.(1),
Llamas, S.(1)

(1) Instituto de Medio Ambiente – Facultad de Ingeniería – Universidad Nacional de Cuyo - Centro Universitario, 5500, Mendoza, Argentina. sllamas@uncu.edu.ar

(2) Instituto de Energía – Universidad Nacional de Cuyo - Centro Universitario, 5500, Mendoza, Argentina. elisaindiveri@gmail.com Tel. 0261-4299986

(3) Instituto CEDIAC – Facultad de Ingeniería – Universidad Nacional de Cuyo - Centro Universitario, 5500, Mendoza, Argentina. alexis.atem@gmail.com. Tel. 0261-4135000 – Int 2187

(4) Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas - CONICET – Mendoza, Argentina.

Palabras Clave

- Biogás
- biomasa
- residuos
- educación y transferencia

Resumen

Se presentan resultados parciales de un proyecto de extensión de 7 meses de duración realizado en una escuela técnico agraria, ubicada a 110km al sur de la ciudad de Mendoza. Los objetivos de este proyecto fueron: crear concientización ambiental, abordar la problemática de los residuos sólidos a partir de un cambio conceptual en la generación de los mismos, demostrar el potencial energético de la biomasa y transferir tecnología para su aprovechamiento mediante el diseño, construcción y puesta en marcha de un sistema que permite obtener energía renovable en forma de biogás y biofertilizante, a partir de residuos orgánicos generados en una Escuela Técnico Agraria.

Esto se realiza mediante un proceso de digestión anaeróbica, en donde el biogás producido es utilizado para abastecer de gas a una casa ubicada en el establecimiento. El digestor será alimentado tanto con residuos del comedor y residuos orgánicos que se generen en otras actividades rurales e industriales que se llevan a cabo en la Escuela.

Se ha seleccionado una Escuela técnico - agraria con el fin de poder capacitar profesores y alumnos tanto en producción de biogás como en tratamiento de residuos. Educar para que esta tecnología pueda seguir replicándose, generando así autoabastecimiento energético en zonas rurales o de bajos recursos.

Introducción

Este trabajo desarrolla la experiencia de la construcción de un biodigestor en el ámbito del proyecto de extensión de la Universidad Nacional de Cuyo: “Propuesta para una nueva gestión de los residuos sólidos urbanos. Su aprovechamiento energético a partir de la transformación en biogás y biofertilizante para escuela técnico rural”.

Este proyecto fue realizado en la Escuela Nº4-035 Julia Silva de Cejas ubicada en la Localidad de Vista Flores y se ejecutó mediante el trabajo conjunto del Instituto de Energía de la Universidad Nacional de Cuyo, el Instituto de Medioambiente de la Facultad de Ingeniería y la cooperación de alumnos, profesores y personal de apoyo de la Escuela.

El proyecto se orientó a capacitar a los alumnos del Polimodal y se pretende poder llegar a todas las personas de la Comunidad de Vista Flores que estuvieran interesados en el tema. Se ha seleccionado una escuela técnico-agraria con el fin de poder capacitar profesores y alumnos tanto en la producción de biogás como en el tratamiento de residuos. Se pretende educar para que esta tecnología pueda seguir replicándose, generando así autoabastecimiento energético en zonas rurales o de bajos recursos. Se eligió este lugar debido a la modalidad del establecimiento, por lo tanto posee mucho potencial humano, edilicio, industrial, agrícola y de residuos para ser aprovechado.

Los objetivos generales fueron: la concientización ambiental y de aprovechamiento energético, la transferencia de tecnología y la formación en recursos humanos en lo concerniente a la generación, tratamiento de residuos y producción de biogás. Por otro lado se trató el aprovechamiento continuo de residuos generados en el predio mediante la construcción de un biodigestor y el abastecimiento de biogás para vivienda ubicada en el predio.

Importancia del tema

La mayoría de nuestros sistemas energéticos se alimentan con petróleo y sus derivados y al ser éste un recurso no renovable y escaso su precio se ha incrementado en forma significativa en los últimos años. Además la quema de combustibles fósiles incrementa la generación de gases de efecto invernadero, impactando profundamente en el proceso de cambio climático en el que nos encontramos sometidos. Este hecho hace que otras fuentes de energía renovable se vuelvan más atractivas y la vez sustentables en el tiempo. Muchas de estas energías renovables llevan años de investigación e implementación pero recién ahora se las mira como una alternativa al petróleo.

Por otro lado el tema de gestión de residuos se ha vuelto un pilar fundamental en lo que el desarrollo sustentable se refiere. Actualmente la mayoría de los residuos son depositados en vertederos incontrolados, en donde se realiza un daño ambiental, pero mayores son las consecuencias a nivel social, sanitario y cultural de las poblaciones afectadas.

En Argentina existe un gran potencial biomásico derivado de las actividades agrícolas y agroindustriales, para la generación de energía; este potencial no está siendo aprovechado adecuadamente, de tal manera, que la mayor parte de la generación de electricidad proviene de las centrales termoeléctricas, siendo Argentina altamente dependiente, desde el punto de vista energético, de los combustibles fósiles (Flores Marco et al, 2008). Se puede notar que uno de los cuellos de botella para el desarrollo de esta tecnología es la falta de recursos humanos capacitados en este tema.

Se pueden citar experiencias como la provincia de Santa Fe, en donde la Universidad Nacional de Litoral ha colaborado en la construcción de digestores para el tratamiento de residuos y abastecimiento energético de casas, escuelas, comedores sociales, ONGs y pequeñas poblaciones.

Se apunta a la necesidad de una nueva gestión de los residuos sólidos, generación y transferencia de tecnología en relación a las energías renovables, respetuosas con el ambiente. Es necesario crear conciencia que se poseen muchas fuentes de energía renovable disponibles y que la mayoría son libres, gratuitas y para utilizarlas es de fundamental importancia desarrollar tecnología a nivel regional para su aprovechamiento.

En este caso, se pretende abordar la de los desechos y trabajar en el aprovechamiento de estos para poder reemplazar a las fuentes de energía más contaminantes.

Se pretende, desde la Universidad y mediante este proyecto, concentrar esfuerzos en la capacitación y el desarrollo en tecnologías limpias y sustentables, siempre y cuando las mismas se adapten a la región.

Cabe destacar también la importancia del acercamiento de la Universidad hacia la comunidad, como se da en este tipo de proyectos donde se puede observar la demanda de la comunidad hacia la universidad, en este caso en temas relativos a la energía y sobre todo en lo que refiere a las energías renovables.

Materiales y Método

1. Método

1.1. Contacto

Para comenzar el trabajo se realizaron reuniones preliminares con el equipo extensionista, se contactó a la escuela, se visito y recorrió el predio. Se evaluó el potencial de la misma para ejecutar el proyecto, luego se realizaron reuniones con directivos y personal de la escuela.

1.2. Compromiso:

Se firmó un acuerdo entre las instituciones: La Escuela se comprometió a aportar el lugar físico, personal docente y no docente y la participación de los alumnos. La U.N.Cuyo participó aportando profesionales capacitados en el tema y financiando el proyecto.

1.3. Capacitación

Se realizó un breve cuestionario a alumnos de los últimos años, cuyo objetivo fue indagar acerca del "estado de saberes" que poseen los alumnos y captar la percepción de estos acerca de los residuos que se generan tanto en la escuela como en su vivienda y formas de tratarlos. Posteriormente, se realizó una presentación de diapositivas donde se expuso la idea general del proyecto y el "estado de saberes" del equipo extensionista. Este paso deja en clara evidencia nuestra concepción de extensión que en términos de Paulo Freire se vincula más con una idea de comunicación en el sentido de diálogo, intercambio de saberes, articulación cultural, trabajo «con» y no «para» los otros, en clara oposición a las "…prácticas asistencialistas inherentes al difusionismo desarrollista, que tienden a enmudecer y hacer pasivos a los verdaderos sujetos del desarrollo."(Freire, 1973)

Se realizó la presentación del proyecto donde los temas mostrados junto a las características generales del proyecto se orientaron a: identificar la problemática que encierran los residuos, presupuestos teóricos acerca de la concepción de los residuos, realidad económica y demanda de recursos problemas del ambiente en relación al abastecimiento de energías de origen fósil, nuevas concepciones de los residuos que apuntan a la recuperación y al reciclado, ejemplos de casos de reutilización de los residuos. Finalmente se realizó una convocatoria a los alumnos para comprometer su participación en el proyecto de extensión.

Se capacitó a todos los alumnos del polimodal mediante presentaciones sobre residuos, cambio climático, gases de efecto invernadero y biomasa. Se captaron interesados y junto con estos se trabajó en descubrir el potencial de la biomasa para la producción de energía.

Luego se capacitó mediante, charlas, talleres y clases prácticas en temas de digestión anaeróbica, tipos de biodigestores, dimensionamiento y construcción de los mismos a los alumnos y profesores interesados.

También se instruyó en la separación de residuos orgánicos del comedor, la sistematización de los residuos y la forma de alimentación del digestor.

1.4. Caracterización de residuos.

Se cuantificó el potencial energético de los desechos producidos en la escuela mediante una caracterización de residuos del comedor. Se pesaron diariamente los desechos orgánicos producidos en el comedor durante una semana, mediante la utilización de planillas y la colaboración de los alumnos interesados. Se obtuvo una estimación de la fracción orgánica aprovechable para la alimentación del digestor.
A partir de esos valores se calculo el biogás que se podría producir y el volumen del digestor.

Pasos de la Caracterización

- Se determinó la frecuencia y cantidad a muestrear
- Separación por tipo de desecho (orgánico-inorgánico)
- Se cuantificó la producción diaria de Residuos Orgánicos
- Se estimaron los kilogramos de materia orgánica generada por persona

Además se estimaron los residuos generados por la bodega y por la industria de la escuela.

1.5. Dimensionamiento

Se capacitó en cuanto a principales parámetros que afectan la producción de gas

- Tipo de sustrato, tamaño y agua de alimentación
- Temperatura
- pH, alcalinidad y acidez
- Relación C/N
- Concentración del sustrato: contenido de sólidos totales volátiles y fijos.
- Agregado de inoculantes:
- Velocidad de carga volumétrica
- Tiempo de retención hidráulico
- Agitación- Mezclado
- Presencia de inhibidores
- Presión
- Volumen de sustrato orgánico cargado diariamente al digestor
- Alimentación, sobrealimentación, acidificación

Mediante la caracterización de residuos, tomando datos de Gropelli y Giampaoli, 2003 y análisis de laboratorio se calcularon los kilogramos de sólidos volátiles diarios, y a partir de este valor, se dimensionó el digestor.
El equipo integrado por alumnos y extensionistas realizó los cálculos y se determinó que tipo de digestor se construiría.

1.6. Diseño

Partiendo de los datos obtenidos en el dimensionamiento se proyectó un digestor acorde a las necesidades del predio. De acuerdo a los materiales disponibles en la zona y acorde a la dimensión calculada se diseñó un digestor continuo, tipo chino, con sellos hidráulicos, cámara de carga y descarga y acumulador de gas apartado del mismo.

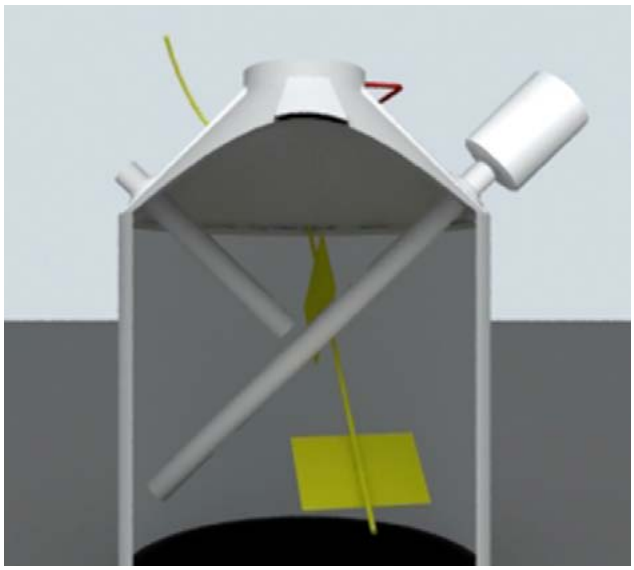


Figura 1: diseño preliminar del digestor, se observa caño de entrada y salida, toma de gas y agitador.

1.7. Construcción

El digestor fue construido en su totalidad mediante la ayuda del equipo (extensionistas, profesores y alumnos).

Se utilizó un tanque de polietileno bicapa de 2750 litros de capacidad. Se procuró colocarlo en el sector más alto para lograr el escurrimiento del bioabono por los surcos para realizar así el fertirriego dentro del invernadero. Como acumulador de gas se utilizaron dos tanques de 1.100 litros de capacidad.

Se realizó el pozo de dos metros de profundidad y luego un contrapiso para asentar la base del biodigestor. Se debe tener en cuenta que fue construido en un invernadero para que la temperatura en el digestor fuera mayor que la del exterior y a su vez enterrado para evitar las grandes variaciones de temperatura. Se aisló con polietileno y tierra seca. Se ubicó cerca de un surtidor de agua debido a que la alimentación del digestor se realiza con el mismo volumen de líquido que de sólido.

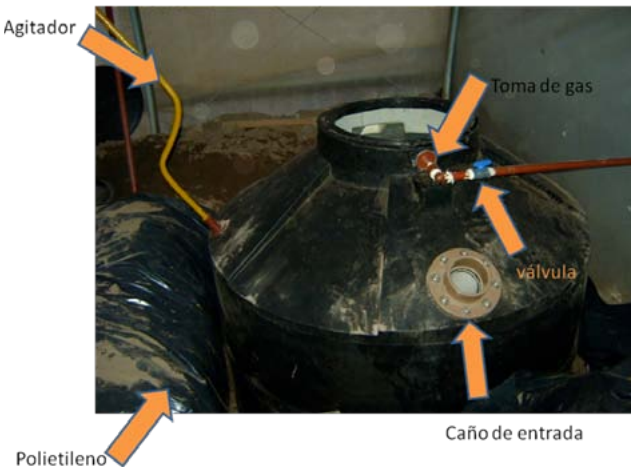


Figura 2: vista del digestor, brida de entrada, toma de gas con válvula, agitador y polietileno aislante.

Se perforó tanque con caladora. También se perforó tanque para colocación de bulones de acero inoxidable de 2" para fijación de bridas. Se utilizaron 4 bridas plásticas de 110mm. Una de cada lado (interno y externo) del digestor. Entre la brida y el tanque se colocó un sello que fue hecho con tela de goma de 4mm de espesor cortada según el tamaño y forma de las bridas. Es de fundamental importancia lograr la hermeticidad del sistema debido a que no puede ingresar oxígeno y se deben evitar todas las posibles perdidas de gas. Para este fin también se colocó silicona en los intersticios.

Se colocaron caños de 110mm de entrada y salida que atraviesan las bridas. También un agitador manual de paletas de caño de hierro de ¾" de diámetro y 3mm de espesor. Se soldaron dos paletas de acero inoxidable 316 de 1mm de espesor y se pinto íntegramente con epoxi. Para sostener el agitador en el fondo se utilizo una placa de acero inoxidable 316 de 1mm de espesor que sostiene una T de caño de polietileno que fija el eje del agitador al fondo.

Figura 3: colocación de brida interior del digestor

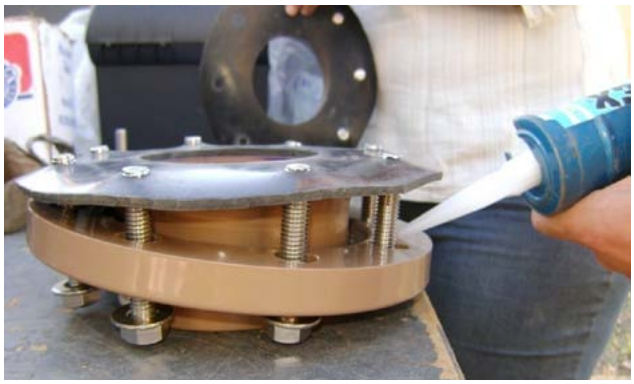


Figura 4: colocación de silicona en brida con tornillos y tela de goma.

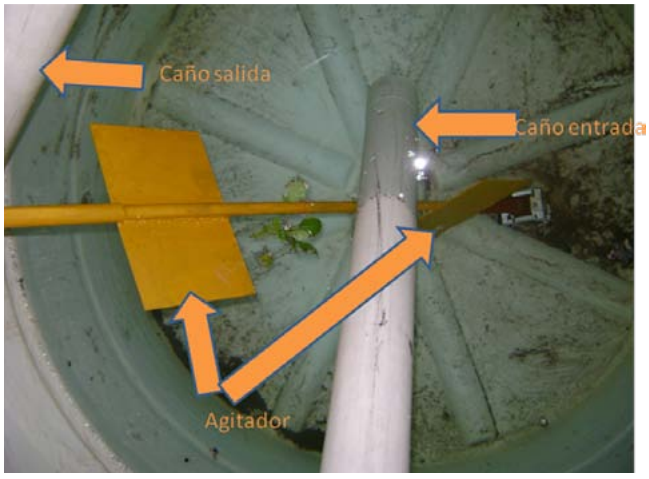


Figura 5: vista interna del digestor, caños de entrada y salida y agitador de paletas

El caño de ingreso llega casi hasta el fondo ya que los desechos depositados a medida que van descomponiéndose se movilizan de abajo hacia arriba, el caño de salida del biofertilizante llega hasta la mitad del tanque para mantener siempre un sello hidráulico y tomar los mejores barros que son los que se encuentran a esta altura.

La tapa del tanque fue sellada con silicona, teflón, mezcla de alquitrán y otras sustancias afines al polietileno para evitar cualquier tipo de fuga de gas y lograr la hermeticidad del sistema.

Se construyó un acumulador de gas con sus respectivas conexiones y válvulas. Éste fue realizado con dos tanques de 1.100 litros de capacidad de distinta forma ya que uno cabe dentro del otro. Fueron cortados en su parte superior y quedó uno inserto en el otro con una separación de 10 cm. donde se colocó agua para lograr un sello hidráulico que soporta la presión del gas producido

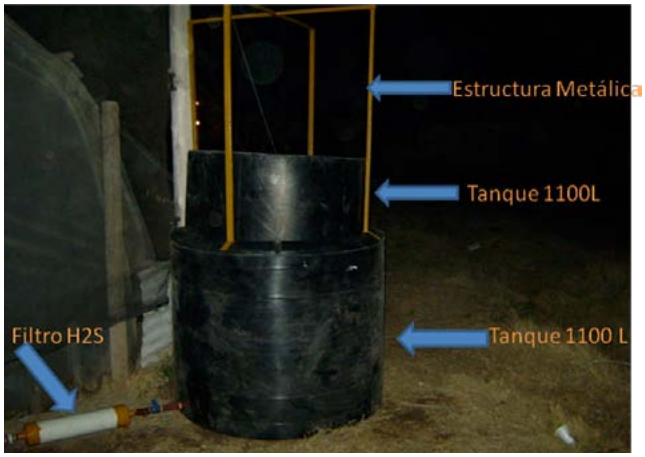


Figura 6: acumulador de gas y filtro de H2S

Se colocó una cañería de polietileno que sale del biodigestor e ingresa al acumulador de gas con dos válvulas. Para este fin se utilizaron dos fondos de tanque, uno para la salida de gas desde el digestor en la parte superior del tanque y el ingreso al acumulador desde el fondo del mismo. También se usaron caños de polietileno de ¾" y válvulas plásticas del mismo tamaño. El caño por donde ingresa el gas al acumulador posee aproximadamente la altura del tanque que apoya en el piso, ya que éste contiene agua y esta podría ingresar al circuito si la altura del agua llegara a superar la del caño.

La salida del gas, para su aprovechamiento, se encuentra entre dos válvulas de paso, una que cierra al digestor y otra que cierra al gasómetro, entre estas válvulas también se encuentran dos filtros: uno para retener el ácido sulfhídrico y otro el agua que arrastra el gas.

El filtro de sulfhídrico fue realizado con un caño de 110mm y tapas, dentro del mismo colocaron virutas de hierro previamente oxidadas. El otro es un filtro para separar el agua del biogás, para colocarlo se agregó una T a la cañería que por lo que la cañería por un lado continúa hacia el gasómetro y por el otro continúa hacia abajo, fue cortada a bisel y queda embutida en el filtro de agua que también es un caño de 110mm con tapas, el filtro se encuentra en desnivel para lograr la separación del agua, pose dos orificios para que pueda volcar el excedente de agua.

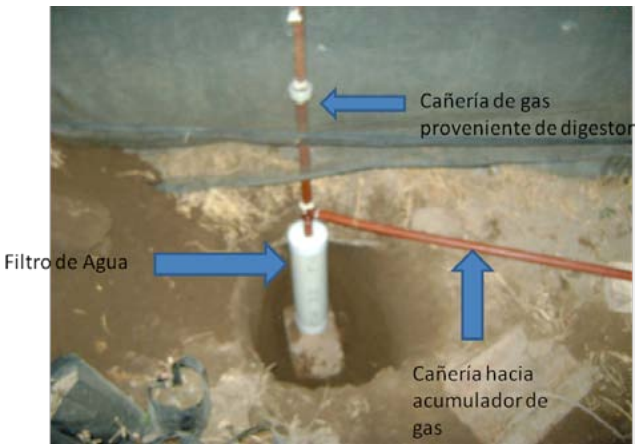


Figura 7: filtro de agua en desnivel.

1.8. Puesta en Marcha

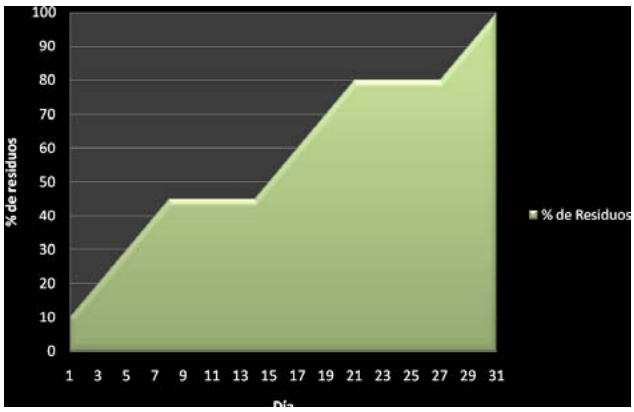
Para comenzar con la producción se revisaron previamente las posibles pérdidas del digestor cargándolo completamente con agua. Con esto también se logro desplazar la mayoría del oxígeno alojado en el mismo. Se midieron las temperaturas en invernadero, suelo y digestor. Se revisaron las posibles pérdidas de gas con esponja y detergente, previa carga con aire del gasómetro para obtener presión en el sistema.
Se extrajo el agua y se colocaron desechos de matadero, estos estaban constituidos efluentes líquidos acumulados en una laguna. Se extrajo mediante un camión atmosférico de las zonas de la laguna que se encontraban en plena actividad metanogénica (se observaba burbujeo). Se midió el pH de los desechos, el mismo era de 7,2.

El digestor actualmente se encuentra en fase de arranque. Para comenzar la alimentación con residuos del comedor se elaboró un plan de alimentación. Tomando el total máximo de desechos que se agregarían diariamente al biodigestor(7,6kg). Se comenzará agregando un porcentaje de estos para lograr la aclimatación de las bacterias

Se debe adicionar 10% de la mezcla agua/sustrato final y se aumenta esta proporción 5% cada día hasta el octavo día. Es decir que el día 8 obtendremos una mezcla del 45% de sustrato final.

Este porcentaje de alimentación se mantendrá 1 semana para aclimatar las bacterias metanogénicas.

Pasada esta fase de aclimatación se adicionará 5% de mezcla más cada día hasta llegar al 80% y se volverá a conservar esta proporción de alimentación durante otra semana y luego se agregará 5% cada día hasta completar el 100% de la mezcla de alimentación, que en este caso serían 7,6 kg de residuos orgánicos más la misma proporción de agua corriente.



En esta etapa se debe medir frecuentemente el pH (si es menor a 6,5 debe mantenerse la alimentación constante en este nivel y medirse nuevamente el pH a las 8 hs, si éste está mas bajo no alimentar al biodigestor por un día, si el pH aumenta se continúa con el programa de puesta en marcha desde el punto donde se interrumpió).El biogás obtenido durante las primeras semanas es de mala calidad (mayor cantidad de CO2 y poco CH4).

Se debe eliminar la primera producción de gas ya que el metano se encontrará mezclado con oxígeno y esta mezcla resulta explosiva.

2. Materiales

2.1. Material de difusión:

Presentaciones en Power Point, encuestas, cuadernillo con fundamentos teóricos.

2.2. Material de construcción

Tanque: Se utilizó un tanque marca tinacos de polietileno bicapa de 2750 litros de capacidad por su costo, calidad, peso y porque el mismo no es corroído por los ácidos.
Se utilizaron 4 bridas plásticas marca tigre de 110mm. Una de cada lado (interno y externo) del digestor Se perforó tanque para colocación de bulones de acero inoxidable de 2" para fijación de bridas. Se utiliza acero inoxidable para evitar a corrosión de las piezas debido al gas y a las sustancias ácidas que contiene el digestor.

Sellado: Sello para bridas de tela junta de 4mm de espesor. Se colocó silicona en todos los intersticios

Aislamiento: polietileno de 200 micrones de espesor.

Caños: PVC de 110mm.Se recomienda que en la entrada los mismos sean de 160mm, para evitar estancamiento.

Agitador manual de paletas: Agitador de caño de hierro de ¾" de diámetro y espesor 3mm. Pintado con pintura epoxi Para sostener el agitador en el fondo se utilizo una placa de acero inoxidable de 316 de 1mm de espesor que sostenía una T de polietileno que sirve para sostener el eje del agitador
Acumulador de gas: dos tanques bicapa de polietileno de 1100L de formas diferentes cortados en parte superior
Filtro de H2S: caño de 110mm de 50 cm de largo con tapas de PVC y conectados a fondo de tanque de ¾" virutas de metal oxidado para eliminar H2S.

Filtro de agua: caños 110mm de aproximadamente 50 cm de largo con tapas de PVC y conectados a fondo de tanque de ¾"
Cañerías de gas: Se colocaron caños de polietileno de ¾"
Válvulas: esféricas de ¾" marca Tigre

Resultados

Capacitación

Se concientizaron mediante charlas a aproximadamente 300 alumnos correspondientes al polimodal. Se capacitaron a los alumnos del último ciclo y profesores en identificar la problemática que encierran los residuos, problemas del ambiente en relación al abastecimiento de energías de origen fósil, nuevas concepciones de los residuos que apuntan a la recuperación y al reciclado, ejemplos de casos de reutilización de los residuos. Luego se trató con los alumnos interesados el diseño construcción, puesta en marcha y funcionamiento de biodigestores. Hasta el momento de la presentación se ha logrado que un grupo de 10 estudiantes del colegio se haga cargo de la continuidad del proyecto.

Caracterización de residuos

Fecha	Kg.	Personas	kg/persona
15/04/2009	5,35	83	0,064
16/04/2009	8,1	75	0,108
17/04/2009	6,8	50	0,136
20/04/2009	4,1	60	0,068
21/04/2009	5,25	50	0,105
23/04/2009	5,6	80	0,070
24/04/2009	8,3	50	0,166
TOTAL	43,5	448	
Promedios	6,21	64	0,103

Tabla 1: kilogramos de residuo orgánico generados a diario en comedor por persona.

Según la tabla 1 se estima que se producen en promedio 0,103 gramos de residuos orgánico por alumno.

También se cuantificaron los residuos producidos en la fábrica y bodega. En la bodega se elaboran 5000 litros de vino por año, produciendo aproximadamente de 500 a 700kg de residuos. En la industria se elaboran 300kg de tomate, también se procesan membrillo, durazno, ciruelas damasco que dejan cantidades significativas de residuos que podrán alimentar el digestor.

Diseño del biodigestor

Dato	Valor	Unidades
Sólidos volátiles (sv)	0,5	kg SV/(día.m^3digestor)
Rendimiento	0,1	m^3 biogás/kg basura
Densidad residuos	1000	kg/m^3
Composicion del residuo	0,8	kg agua/kg residuo
	0,2	kg sólidos secos/kg residuo
	0,18	kg sólidos volátiles/kg de residuo
Composición Metano	0,6	m3 metano/m3 biogás

Tabla 2: datos básicos obtenidos en laboratorio y según Groppelli y Giampaoli, 2003 para el dimensionamiento del digestor.

Solución	Valor	Unidades
Masa de basura por día	6,21	kg residuo/día
Masa de Sv por día	1,1178	kg SV/día
Volumen de residuo diario	0,0062	m^3 residuo/día
Volumen de agua diario	0,0062	m^3 agua/día
Caudal	0,012	m^3 residuos/día
Tiempo de residencia	180	Días
Volumen de Biogás por día	0,62	m3
Volumen de Metano por día	0,37	m3
Volumen digestor	2,2356	m3

Tabla 3: resultados del dimensionamiento del digestor.

Se observa en la tabla 3 que los 6,21 kg de basura generados diariamente en promedio en el comedor de la escuela poseen 1,11kg de sólidos volátiles. Tomando 0,5 kg de sólidos volátiles por m3 de digestor por día como velocidad de carga volumétrica se puede decir que el volumen final del digestor sería de 2,23m3. Se sobredimensiona a 2,750m3 para poder recibir también residuos generados en la bodega industria y posiblemente en el futuro residuos de la comunidad de vista flores. Por lo que la masa de basura diaria que aceptaría este digestor es de 7,63

Conclusiones

Podemos decir que mediante este proyecto fue factible la construcción de un biodigestor en la escuela mediante la articulación de ambas instituciones, La Escuela y La Universidad. El éxito de la construcción se valió de factores múltiples como la predisposición de los alumnos, de los profesores y la posibilidad de comprar la mayoría de los elementos de construcción en la zona.

El equipo extensionista fue formado por dos Ingenieros, un Geógrafo y una Antropóloga, estos últimos se encargaron de la parte social del proyecto y favorecieron la comunicación y la puesta en marcha del proyecto, pilar fundamental, el aspecto social para el éxito del proyecto.

Se continúa trabajando en el proyecto mediante el Instituto de Energía sobre la producción de biogás, la continuidad del proyecto y la apropiación de esta tecnología por parte de la comunidad.

Cabe destacar que es de vital importancia asegurar la continuidad en el manejo del digestor por lo que este proyecto debe continuar hasta lograr un hábito de uso del mismo en la escuela y la comunidad.

Referencias

Artículos

- IPCC, 2007: Cambio climático 2007: Informe de síntesis. Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Cuarto Informe de evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático IPCC, Ginebra, Suiza, 104 págs.
- Flores Marco, N., Anschau A., Carballo, S., 2007. Uso de biomasa para la generación de energá eléctrica en la provincia de Tucumán.
- Atem A.D 2008, Biogás en la universidad Nacional del Litoral
- Atem A.D. 2008. Almacenamiento de energía en forma de biomasa para su posterior
- aprovechamiento mediante la producción de biogás.

Libros

- E.Groppelli y O. Giampaoli, 2007. El camino de la biodigestión. Editorial Universidad Nacional del Litoral.
- Freire, P. 1973 ¿Extensión o comunicación? La concientización en el medio rural, México, Siglo XXI.

PROSPECCIÓN CARTOGRÁFICA Y GEOFÍSICA DEL SECTOR ORIENTAL DE LAS SIERRAS DE SAN LUIS

Luis Ariel Raniolo (1)
José Kostadinoff (2)

(1) Departamento de Ingeniería, Universidad Nacional del Sur, syariel@criba.edu.ar

(2) Departamento de Física, Universidad Nacional del Sur, gfkostadl@criba.edu.ar

Objetivos

La prospección cartográfica y geofísica del sector oriental de las Sierras de San Luis se realizó para complementar estudios anteriores ejecutados en el área occidental. El proyecto intentó definir, a través de estudios cartográficos, las dimensiones de los cuerpos superficiales cuyas rocas son de interés geológico y su geometría en profundidad. Este último se obtuvo mediante observaciones gravimétricas lo que permitió modelar las anomalías geológicas de la corteza terrestre. Finalmente los mapas gravimétricos serán utilizados en futuras investigaciones geodésicas relativas a la desviación de la vertical y reducciones para determinar el apartamiento del geoide de los diferentes elipsoide de referencia usados en la actualidad.

Antecedentes Geológicos

Las sierras que afloran en el territorio de la provincia de San Luis forman parte del sistema geológico denominado como el de las Sierras Pampeanas y se halla ubicado en el centro de la República Argentina, Figura 1.

Todo el basamento rocoso se halla estructurado geotectónicamente en bloques basculados, con borde occidental levantado y el flanco oriental con suave inclinación hacia el este, Figura 2.

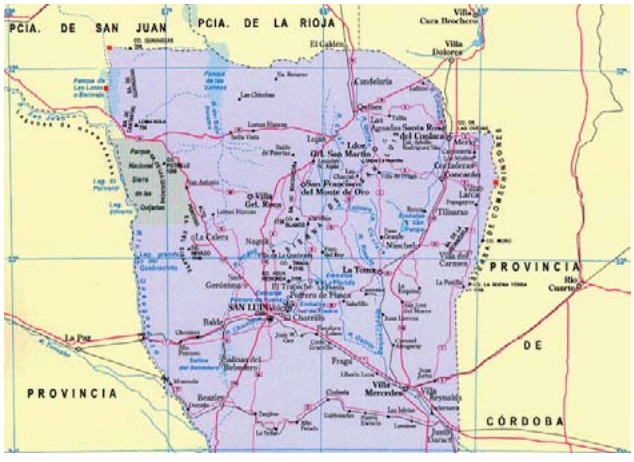


Figura 1.- Sector investigado con metodologías geofísicas.

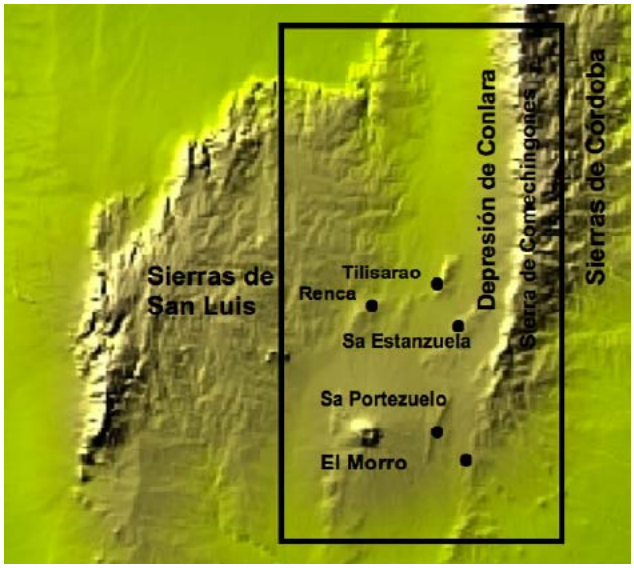


Figura 2.- Ubicación de las áreas estudiadas

Las Sierras Grandes de San Luis, en su borde oriental, son cubiertas por sedimentos modernos en la llamada depresión de Conlara,.

En el sector sur de esta depresión se ubican asomos del basamento de baja altitud y pequeño desarrollo superficial como las sierras de Tilisarao, La Estanzuela, El Portezuelo y El Morro. El área oriental es marginado por un levantamiento de más de 1000 metros de la Sierra de Comechingones en el límite con la provincia de Córdoba.

Por lo tanto, tenemos tres sectores bien definidos; dos positivos el de las Sierras Grandes de San Luis y el de Comechingones y un negativo comprendido entre ambas denominada Depresión Elongada de Conlara, Figura 2. Toda la descripción geológica del área se halla en la síntesis publicada por Yrigoyen (1981). De la recopilación del trabajo mencionado anteriormente y el de Pieters y Skirrow (1997) podemos resumir que la corteza continental de esta región se halla afectada por megafracturas con orientación Norte-Sur y otras mas pequeñas, de cizalla, con rumbo Este-Oeste. Asimismo las rocas del basamento en ambas sierras son metamórficas del tipo gnésicas y filitas con intrusiones de plutones graníticos. Estos últimos suelen ser de gran desarrollo areal en las Sierras de San Luis, siendo los más importantes del sector

investigado, los plutones de Las Chacras, Tilisarao, Renca y El Morro. En la Sierra de Comechingones (Córdoba) se ubican los de Pampa de Achala, Achiras y Alpa Corral, ver Figura 3.

Antecedentes Geofísicos

En esta zona existen estudios geofísicos muy localizados en los numerosos emprendimientos mineros de la región. Asimismo se deben tener en cuenta los trabajos de exploración hidrogeológicas realizadas con la aplicación de metodologías geoeléctricas en la Depresión de Conlora. No existen trabajos regionales que abarquen todo el área involucrada en esta investigación. Solo se debe destacar un trabajo aeromagnético realizado por la Australian Geological Survey Organisation (AGSO) y la Secretaria de Minería de la Nación (SEGEMAR) en el sector central de las Sierras de San Luis. Los resultados hallados involucran un sector comprendido entre Tilisarao y El Morro en el valle de Conlara, ver Figura 2. Las interpretaciones realizadas por Pieters y Skirrow (1997) y Chernicoff y Ramos (2003) permiten inferir facies litomagnéticas del basamento del Complejo Metamórfico Conlara y los intrusivos graníticos asociados. También se presentan modelos geotectónicos sobre la presencia de diferentes tipos de cortezas continentales (terranes) acrecionadas por colisiones desde el Cámbrico hasta el Paleozoico Medio, Figura 3.

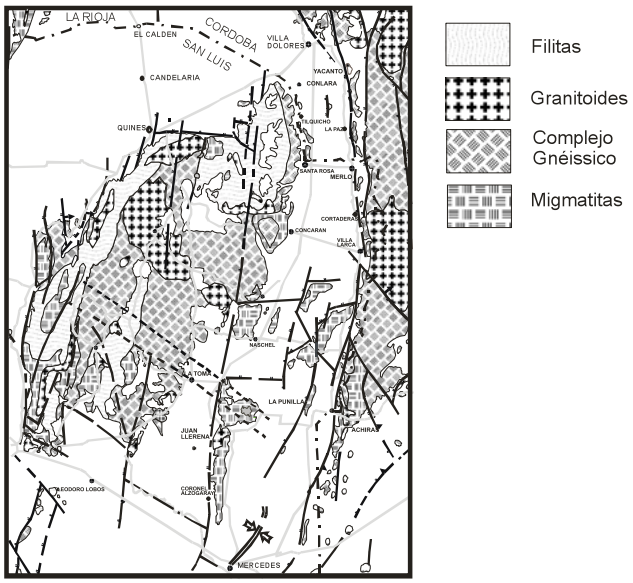


Figura 3.- Mapa de los mayores afloramientos rocosos

Metodología

Las mediciones geofísicas incluyeron determinaciones gravimétricas y de densidad. Los valores del campo gravitatorio se obtuvieron con un gravímetro Lacoste Romberg, cubriéndose el área con un reticulado de una estación cada 6 km. La selección de las estaciones gravimétricas se realizó considerando la altimetría señalizada en los mapas topográficos del Instituto Geográfico Militar, en las escalas 1:100 000 y 1: 50 000.

La cantidad total de estaciones de gravedad seleccionadas fue de 150 , de un total de 2000 estaciones disponibles para la provincia de San Luis, Figura 4a.

Realizadas las correcciones por deriva instrumental, latitud, aire libre y Bouguer, se elaboraron mapas de anomalías de Bouguer, Figura 4b.

Con el fin de sintetizar las interpretaciones y propuestas geológicas que explican las anomalías geofísicas se confeccionaron 2 perfiles, Figura 6. La ubicación de los mismos se observa en la Figura 5.

La configuración en profundidad se calculó con modelos prismáticos 2D, desarrollados para el estudio de cuencas (Kostadinoff y Font, 1982 y Kostadinoff, 1993) los resultados de los mismos se hallan en la parte inferior de la Figura 6. Para ello fue necesario medir la densidad de las rocas del basamento. Esto se realizó en el Laboratorio de Mecánica de Suelos y Carreteras de la Universidad Nacional del Sur.

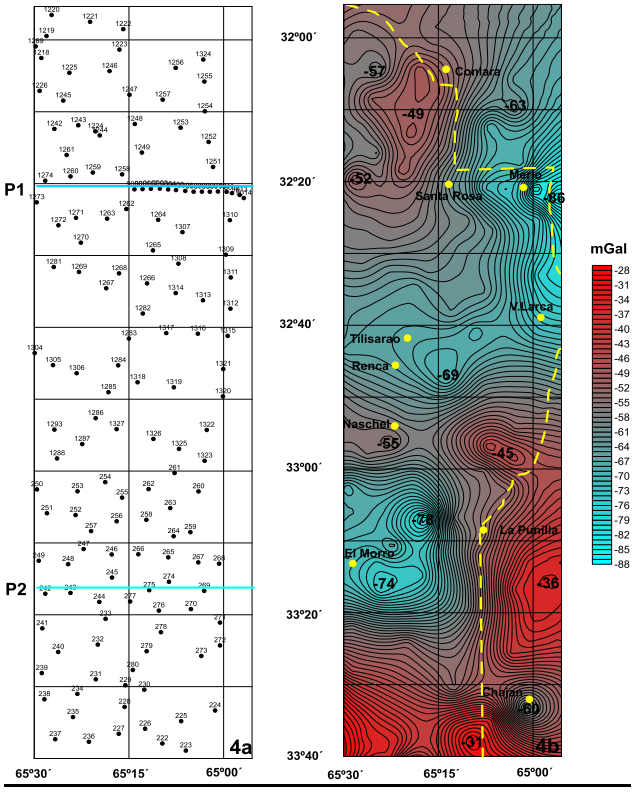
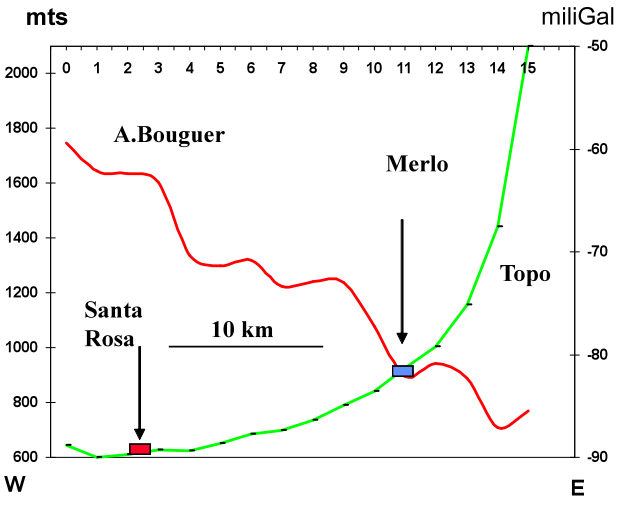


Figura 4a.- Mapa con la ubicación de las estaciones gravimétricas y los perfiles usados en el modelado geofísico.

Figura 4b.- Mapa de anomalías gravimétricas de Bouguer, isolíneas cada 1 mGal.

Resultados

Una serie de máximos y mínimos relativos de gravedad se hallan ubicadas, en su mayor parte, en coincidencia con afloramientos de rocas del basamento con diferentes características geológicas. Considerando las anomalías gravimétricas relativas de Bouguer del mapa de la Figura 4b se determinó que los batolitos graníticos de Renca y Tilisarao se correlacionan con las anomalías de -69 mGal y la del Morro con una de -78 mGal, ver ubicación de estos en el mapa geológico de la Figura 3. Estas anomalías son debidas al déficit de masa producido por la baja densidad de los granitos relativos al basamento metamórfico de la región. La excepción lo constituyen los afloramientos de granitoides de Las Achiras, al este de Villa Larca y al sur de la sierra de los Comechingones, que presenta una diferencia relativa a El Morro de +42 mGal (de -78 a -36 mGal), véase Figura 4b y 5. La desigualdad de densidades es la que justifica esta diferencia. El perfil 1 que atraviesa las ciudades de Santa Rosa y Merlo (Figura 4a) determinó que: las Sierras Grandes de San Luis (sector oeste) son positivas y el alto gradiente negativo entre Santa Rosa y Merlo se ubicó en la depresión de Conlara, Figura 4b. Asimismo en esta figura se observó que el mínimo gravimétrico extremo se halla en las alturas de las Sierras de Comechingones. El análisis de este perfil permitió deducir que existe una combinación entre la composición geoquímica de las rocas y la geometría de la tectónica de la región. Correlacionando estas singularidades geofísicas con la geología aflorante se concluyó que el máximo gravimétrico del sector oeste es debido a la alta densidad de las rocas metamórficas (gneises y filitas) de las Sierras Grandes de San Luis y el gradiente negativo hacia el este se debe al basculamiento de las mismas que generaron el valle de Conlara. El mínimo que se ubicó en la sierra de Comechingones se debe al engrosamiento de la corteza por compresión durante los levantamientos del ciclo Andico, Gonzalez Bonorino (1950) y este efecto está asociado a una baja densidad de las rocas del basamento de las sierras de Córdoba, Introcaso(1987).



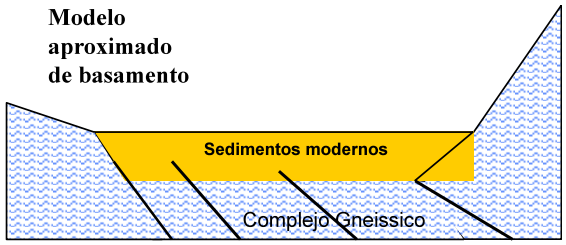


Figura 5.- Perfil 1 y modelo propuesto

En el sector centro oeste se hallan ubicados los intrusitos graníticos de Renca y Tilisarao los cuales se correlacionan con las anomalías de Bouguer de -69 mGal, estos cuerpos fueron descriptos con datos geofísicos y geológicos por López de Luchi (1987, 1993 y 1996) y Bordarampe et al. (2002).

El perfil gravimétrico 2, (Figura 6), que se diagramó sobre la línea del paralelo 33º 10´ fue utilizado para calcular el desarrollo de los intrusivos graníticos de El Morro (San Luis) y Las Achiras (Córdoba)

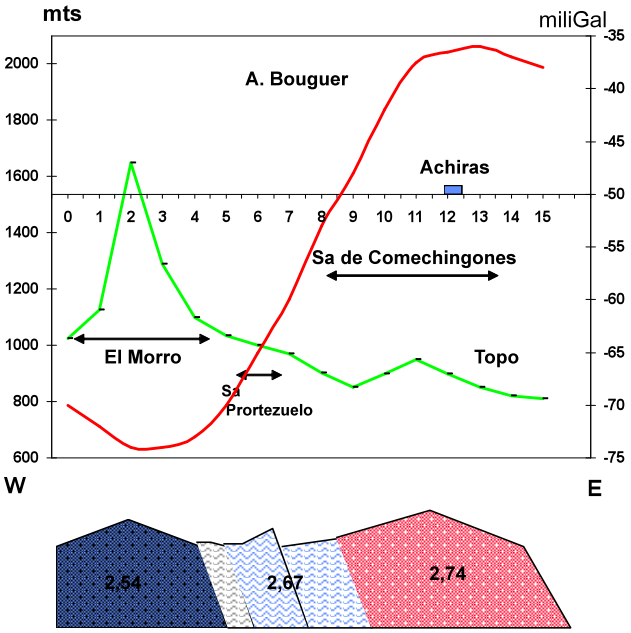


Figura 6.- Perfil 2. Densidades en gr/cm3

Así, utilizando los modelos prismáticos 2D desarrollados por Kostadinoff (1993) se obtuvo que las rocas migmatiticas y granitos de El Morro tienen una densidad promedio de 2,54 gr/cm3 y para la parte central del valle de Conlara los gneises, migmatitas y granitoides se halló que la misma sube a 2,67 gr/cm3. En la Sierra de Comechingones donde se emplazó el pluton granítico de Las Achiras la densidad se incrementa +0,07 gr/cm3 (2,74 gr/cm3).

Como resultado de los cálculos realizados con los modelos de densidad propuesto se halló que para el granito de El Morro puede tener una profundidad de 4,2 km y para el granito de Las Achiras la misma llega a 9,4 km.

En el extremo sureste del área investigada una estación gravimétrica medida sobre las efusiones volcánicas de metabasitas, ubicadas en los alrededores de la localidad de Chajan, correspondió a un mínimo gravimétrico de -60 mGal, Figura 4b. Este valor es indicativo de la baja densidad de éste intrusivo pero no se modeló por ser resultado de una única observación situación que no permite calcular las dimensiones de este cuerpo.

Cartografía

Con el advenimiento del posicionamiento satelital (GPS) se han podido materializar diversos sistemas geodésicos de referencia global. Es posible así, determinar la latitud, longitud y altitud geométrica de cualquier punto de la Tierra en cualquier momento y en casi cualquier situación meteorológica. Existe sin embargo un inconveniente referido a este sistema de posicionamiento y es el que las altitudes geométricas obtenidas de esta manera no se hallan referidas al geoide, sino a una superficie matemática denominada elipsoide., sin tener en cuenta los valores de la gravedad terrestre en su determinación.

Como consecuencia directa, puede ocurrir que al medir puntos con diferentes niveles, den determinaciones con iguales valores (o el caso contrario, donde valores con el mismo nivel arroje resultados con distintos valores).

Debido a la utilización masiva de la técnica GPS, es indispensable considerar este tipo de alturas en los registros oficiales de las cantidades directamente medidas. Sin embargo, como éstas no consideran el campo de gravedad terrestre en su determinación, pueden presentar valores iguales en puntos con niveles diferentes, o viceversa, haciendo que su aplicación en la práctica sea mínima. Tal circunstancia exige que éstas sean complementadas con otro tipo que sí considere el campo de gravedad terrestre.

Diversas soluciones pueden ser adoptadas, incluyendo el uso de modelos geopotenciales para la obtención de la separación elipsoide-geoide, la observación de altitudes geométricas sobre puntos con altitud ortométrica conocida y combinaciones de ambos métodos. Cuando las necesidades de precisión en la transformación son mayores, la determinación de modelos geoidales locales es la solución mas adecuada, pero requiere normalmente, un volumen y variedad de datos mayor.

Debido a la gran complejidad geológica de esta región (en lo referente a composición de las rocas supracorticales y la estructura geotectónica) se necesitará profundizar el estudio gravimétrico a fin de generar un mapa de anomalías que permitirá aumentar las precisiones de las observaciones geodésicas.

Bibliografía

- Bordarampe, C., Rossello, E.A., López de Luchi, M.G. ,Pomposiello, M.C., 2002. Modelado Gravimétrico 2 ¾ D preliminar del Batolito de Renca (San Luis, Argentina): Una Aproximación a su Geometría y Modo de Emplazamiento. En: Cabaleri, N., Linares, E., López de Luchi, M. G., Ostera, H y Panarello, H. (Eds). Actas 15 Congreso Geológico Argentino, I: 275-279
- Chernicoff, C.J. y Ramos, V.A., 2003. El basamento de las Sierras de San Luis: Nuevas evidencias magnéticas y su implicancias tectónicas.
- Revista de la Asociación Geológica Argentina, 58(4):511-524. Buenos Aires.
- Gonzalez Bonorino, F., 1950. Algunos problemas geológicos de las Sierras Pampeanas. Revista de la Asociación Geológica Argentina, 5(3):81-110. Buenos Aires.
- Introcaso, A., Lion, A. y Ramos, V.A., 1987. La estructura profunda de las Sierras de Córdoba. Revista de la Asociación Geológica Argentina, 42(1-2):177-187. Buenos Aires.
- Kostadinoff, J. y Font, G., 1982. Cuenca interserrana bonaerense, Argentina. Actas 5° Congreso Latinoamericano de Geología: 105 – 121. Buenos Aires.
- Kostadinoff, J., 1993. Geophysical evidence of a Paleozoic basin in the interhilly area of Buenos Aires province, Argentina. Comptes Rendus. 13° ICC-P,Volume 1: 397 - 404. Buenos Aires.
- Lopez de Luchi, M. 1987. Caracterización geológica y geoquímica del plutón La Tapera y el batolito de Renca, Provincia de San Luis. X Congreso Geológico Argentino, Actas 4: 84 - 87.
- Lopez de Luchi, M. 1993. Caracterización geológica y geoquímica del plutón La Tapera y el batolito de Renca, Provincia de San Luis. XII Congreso Geológico Argentino y II Congreso de Exploración de Hidrocarburos, Actas 4: 42-53.
- Lopez de Luchi, M. 1996. Enclaves en un batolito post tectónico: petrología de los enclaves microgranulares del batolito de Renca, Sierras Pampeanas, San Luis. Revista de la Asociación Geológica Argentina 51 (2): 131-146.
- Pieters, P. y Skirrow, R., 1997. Informe geológico y metalogenético de las sierras de San Luis y Comechingones, Provincias de San Luis y Córdoba. Instituto de Geología y Recursos Minerales. Servicio Geológico Minero Argentino, Anales Nº 28: página 23. Buenos Aires.
- Yrigoyen, M.R, 1981. Mapa geológico de la Provincia de San Luis y regiones circunvecinas. En Yrigoyen, M.R. (ed.). Geología y recursos naturales de la provincia de San Luis. 8º Congreso Geológico Argentino, Relatorio:1-366, Buenos Aires.

DETERMINACIÓN DE RETARDANTES DE LLAMA (POLIBROMADOS DIFENIL ÉTERES) EN MATERIAL SEDIMENTARIO DE LA CUENCA DEL RIO MENDOZA Y EMBALSE EL CARRIZAL, MENDOZA, ARGENTINA.

Nerina Belén Lana (1), Carolina I. Masi (2), José A. D'Angelo (3) (4), Néstor Ciocco (3), Jorgelina Altamirano (1) (4)

(1) Grupo de Investigación y Desarrollo en Química Analítica (QUIANID), (LISAMEN – CCT – CONICET – Mendoza), Av. Ruiz Leal S/N Parque General San Martín, M 5502 IRA Mendoza, Argentina. Tel.: +54-261-5244064, Fax: +54-261-5244001. blana@mendoza-conicet.gov.ar

(2) Instituto Argentino de Investigación de las Zonas Áridas (IADIZA), CCT-CONICET-Mendoza, Av. Ruiz Leal S/N Parque General San Martín (5500) Mendoza, Argentina Tel.: +54-261-5244064, Fax: +54-261-5244001. C. Masi: cmasi@mendoza-conicet.gov.ar; N. Ciocco: nciocco@mendoza-conicet.gov.ar

(3) Departamento de Geología y Paleontología, IANIGLA-CCT-CONICET, Mendoza. Av. Ruiz Leal S/N Parque General San Martín (5500) Mendoza, Argentina. jdangelo@uncu.edu.ar

(4) Instituto de Ciencias Básicas, Universidad Nacional de Cuyo. Parque General San Martín, 5500 Mendoza, Argentina. jaltamirano@mendoza-conicet.gov.ar

PALABRAS CLAVE

- Retardantes de llama Bromados
- Monitoreo de sedimentos
- Contaminantes persistentes del Ambiente
- Difenil-éteres polibromados

RESUMEN

Los difenil-éteres polibromados (PBDEs) son compuestos químicos que se incorporan en materiales inflamables, tales como polímeros, gomas, maderas, textiles, etc., a los efectos de disminuir y/o inhibir el inicio y desarrollo de incendios. Estos compuestos organohalogenados son uno de los agentes contaminantes más prominentes y persistentes en el ambiente debido a sus características físico-químicas, las cuales facilitan su transporte y acumulación en el ambiente. Adicionalmente se han reportado efectos adversos sobre la salud humana y vida salvaje. En este sentido los PBDEs constituyen un problema de contaminación global, sin embargo se ha encontrado información bibliográfica escasa sobre su existencia en sistemas ambientales de América del Sur. Este trabajo reporta la presencia y niveles de concentración de algunos congéneres de PBDEs en barros y sedimentos provenientes de la Cuenca del Río Mendoza y embalse El Carrizal. Los congéneres analizados fueron los comúnmente hallados en muestras de origen ambiental: 2,2',4,4'-tetrabromodifenil éter (BDE-47), 2,2',4,4',5-pentabromodifenil éter (BDE-99), 2,2',4,4',6-pentabromodifenil éter (BDE-100) y 2,2',4,4',5,5'-hexabromodifenil éter (BDE-153). La metodología utilizada para el análisis de las muestras fue: extracción en Soxhlet seguido por cromatografía gaseosa con espectrometría de masas (GC-MS/MS). Adicionalmente se realizaron análisis físico-químicos de las muestras tales como pH, conductividad eléctrica (C.E.), materia orgánica total y análisis para caracterización de la materia orgánica por espectrometría de infrarrojo. La información obtenida se analizó utilizando técnicas de análisis multivariado (ej. Análisis de Componentes Principales, Análisis de Regresión Múltiple) a fin de identificar la posible correlación entre las variables medidas con el nivel de concentración de PBDEs en las mismas.

La concentración total de PBDEs halladas en barros y sedimentos provenientes de la Cuenca del Río Mendoza se encuentran entre 725,3 y 1644,1 pg g-1, peso seco, mientras que en embalse El Carrizal se detectaron concentraciones en el rango de 4,68 a 179,1 pg g-1.Los niveles obtenidos en el presente trabajo son comparables a los reportados por la bibliografía en este tipo de muestras. Los sitios geográficos donde los PBDEs fueron encontrados están asociados con áreas urbanas e industriales.

INTRODUCCIÓN

Los compuestos bromados retardantes de llama (BFRs) son compuestos químicos que se incorporan en materiales inflamables, tales como plásticos, gomas, maderas, textiles, etc., a los efectos de disminuir y/o inhibir el inicio y propagación de incendios. Los compuestos organohalogenados son los más utilizados como retardantes de llama debido a su eficiencia para capturar radicales libres en las reacciones de combustión (Alaee et al., 2003). Sin embargo, estos compuestos son uno de los agentes contaminantes más prominentes y persistentes en el ambiente; y su presencia es preocupante debido sus efectos adversos sobre la salud humana y vida salvaje.

Estos compuestos pueden ser incorporados a los polímeros como reactivos (Ej.: tetrabromobifenil A) o como aditivos (Ej.: poli bromados difenil éteres- PBDEs), siendo estos últimos más fácilmente liberados al ambiente en condiciones normales de uso del material y/o mediante los procesos de degradación de los materiales.

Si bien la presencia de este tipo de contaminantes está asociado con áreas con actividad antropogénica, se ha detectado su presencia en organismos de la Antártida y del Ártico, confirmando su transporte y distribución a nivel global (Corsolini et al., 2006). Los PBDEs son compuestos no polares (Darnerud et al., 2001), y han sido detectados en muestras ambientales tales como agua, sedimentos, lodos residuales, efluentes (Sellström et al., 1998; North, 2004; Oros et al., 2005; Law et al., 2008), y biológicas incluyendo muestras de leche materna, tejido adiposo humano y suero (Thomsen et al., 2002; Polder et al., 2008). Estas evidencias han motivado que en muchos países se prohíba el empleo, venta e importación de algunos congéneres, así como mezclas, polímeros y resinas que contienen estas sustancias (2002/95/CE, 2003; Canada Gazette, 2007).

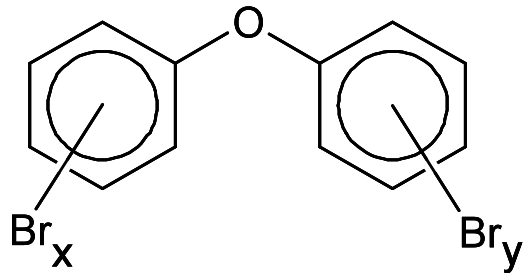


Fig. 1: Estructuras químicas de poli bromados difenil éteres (PBDEs). x+y=1-10.

Los PBDEs son éteres difenilos y forman parte de una familia de 209 congéneres cuya molécula contiene entre 1 a 10 átomos de bromo distribuidos entre los dos anillos aromáticos (Fig. 1). A su vez, pueden dividirse en dos grandes subgrupos: moléculas de bajo peso molecular (moléculas con menos de 7 átomos de bromo) y moléculas de alto peso molecular (8 ó más átomos de bromo).

La semejanza en la estructura molecular con los ya conocidos bifenilos policlorados (PCBs), y su resistencia a los procesos de degradación da lugar para concernir que estos compuestos pueden conducir a problemas ambientales similares (Ter Schure et al., 2004; Tang et al., 2008; Teclechiel et al., 2009). Poca información es encontrada en la literatura internacional sobre PBDEs en los sistemas ambientales de Sudamérica. Algunos trabajos relatan la presencia de PBDEs en muestras ambientales y biológicas de esta región, incluyendo muestras de salmón y aire (Montory y Barra, 2006; Pozo et al., 2004) en Chile y skipjack tuna y tejido humano adiposo de mamas (Kalantzi et al., 2009; Ueno et al., 2004) en Brasil. Sin embargo no hay información sobre la presencia de PBDEs en Argentina. Por ello, el objetivo del presente trabajo ha sido investigar la existencia de estos contaminantes en muestras ambientales de la región cuyana. En esta oportunidad se realizó un muestreo aleatorio orientativo de los sedimentos de los ríos y canales de riego de la cuenca del Río Mendoza y embalse El Carrizal.

El Río de Mendoza presenta un extenso curso que nace en zona de alta montaña y termina en el llano. En dicho recorrido es posible para encontrar zonas libres de actividades antrópicas y zonas urbanas e industriales. La hipótesis del presente trabajo es que la presencia de PBDEs está relacionada con el grado de intervención antropogénica de la región Cuyana.

El embalse El Carrizal es un dique localizado en el curso medio superior del río Tunuyán, centro norte de la Provincia de Mendoza (33º18´00´´ S – 68º 43´15´´ W). Constituye un dique regulador de las aguas del mencionado río el cual se utiliza para irrigar la región productiva de Valle de Uco (oasis centro de la Provincia de Mendoza).

MATERIALES Y MÉTODOS

Materiales

Los estándares de PBDEs fueron provistos por Accustandard (New Haven, CT, USA) y consistieron en BDE-47, BDE-99, BDE-100 y BDE-153. Todos los estándares fueron almacenados en la oscuridad a -14 °C. Los estándares comerciales de PBDEs se encontraban preparados en isooctano y las soluciones de estos analitos fueron preparadas en metanol en concentraciones de 1 µg mL-1. Al igual que los estándares, las soluciones fueron almacenadas en la oscuridad a -14 °C. Reactivos tales como isooctano, n-hexano, acetona, ácido nítrico y sulfato de sodio fueron adquiridos a Merck (Darmstadt, Germany). El agua ultrapura (18 MΩ cm) fue obtenida por sistema de purificacion Milli-Q (Millipore, Paris, France). El cobre metálico granular 99,5% fue adquirido de UCT (Bristol, PA, USA) y los cartuchos de florisil 500 mg de

absorbente en Varian (Argentina). En la preparación de las muestras para su análisis por Espectrometría Infrarroja (IR) se utilizó KBr de calidad IR (Cole-Parmer, rango de aplicación: 40.000 a 400 cm-1). Todos los reactivos utilizados para las determinaciones químicas fueron de grado analítico o superior.

Área de estudio y muestreo

Cuenca del Río Mendoza

La provincia de Mendoza se localiza en el centro oeste de la República de Argentina (32 °-38 S °, 66 ° 30 ' - 70 ° 30 ' W) y tiene un área total de 150 839 km2. Toda la actividad productiva y comercial se encuentra localizada en los oasis de la provincia: norte, centro y sur, los cuales constituyen un 3% del territorio provincial. El oasis norte comprende las zonas más densamente pobladas (departamento de Ciudad de Mendoza, Guaymallén, Godoy Cruz, Las Heras, Maipú y Lujan de Cuyo) con un total de 986 341 habitantes (INDEC, 2004). Esta área es irrigada por el Río de Mendoza, afluentes y canales de riego. El Río Mendoza realiza un recorrido de 300 km comenzando en la Cordillera de Los Andes (aproximadamente 6962 m s.n.m.) y finalizando en la Laguna de Guanacache (aproximadamente 600 m s.n.m). Tiene un caudal medio de 50,03 m3 s-1 (Públicas, 2004) y es originado por la confluencia de los ríos Cuevas, Tupungato y Vacas.

El programa de muestreo de material sedimentario fue realizado en la zona media y baja de la mencionada cuenca, considerando los sitios potencialmente más afectados por actividades antrópicas e industriales. Estos sitios reciben la afluencia de desagües pluviales, aguas servidas, descargas industriales y agrícolas de toda la gran área metropolitana. Para la toma de muestra se consideraron los cauces de ríos y canales de riego en un total de 30 estaciones (Fig. 2).

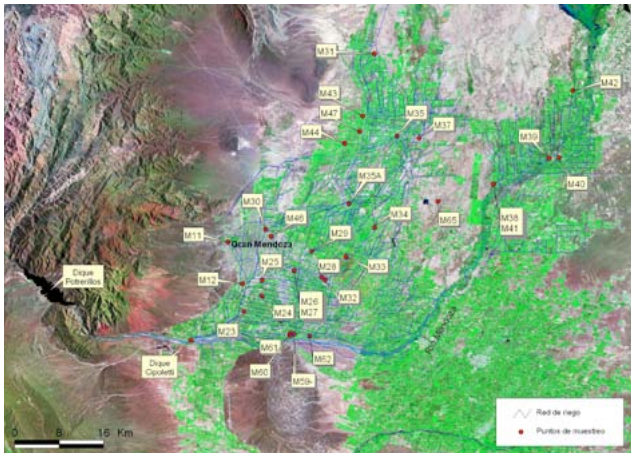


Fig. 2: Oasis Norte de la provincia de Mendoza. El Río Mendoza, ríos tributarios y red de riego se indican en el mapa. Los círculos representan los sitios de muestreo.

En cada estación se colectaron un total de tres muestras de 500 g cada una, las cuales fueron almacenas en frascos de vidrio color ámbar a 4 °C sin espacio de aire. Inmediatamente fueron trasladadas al laboratorio y conservadas a -14 °C al resguardo de la luz. En todo el proceso de recolección y manipulación de las muestras se tomaron los cuidados necesarios para reducir al mínimo la contaminación del material.

Embalse El Carrizal

El embalse El Carrizal se encuentra localizado en la Cuenca del Río Tunuyán. El espejo de agua divide dos subcuencas: hacia el oeste se encuentra la cuenca del Río Tunuyán Superior con un área total de 10.848 km2, y hacia el este, desde el dique hasta su desembocadura en el Río Desaguadero se encuentra la cuenca del Río Tunuyán Inferior con un área total de 19.523 km². El dique es el segundo más grande de la provincia con una capacidad máxima de 344 Hm3. Fue construido con el objetivo de regularizar las aguas del Río Tunuyán y de este modo optimizar el riego de las áreas de cultivo del oasis centro de la provincia, aunque también se instaló una central hidroeléctrica para la producción de energía.

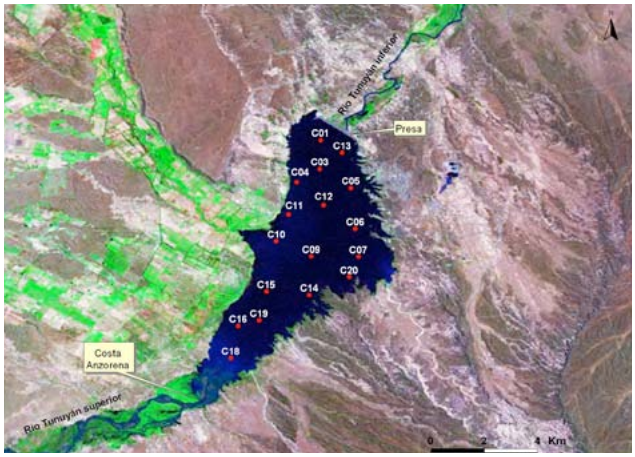


Fig. 3: Embalse El Carrizal. Los círculos representan los sitios de muestreo

El monitoreo del material sedimentario del dique fue realizado en setiembre de 2009. Para garantizar la representatividad de los datos obtenidos se planifico y diseño un programa que abarcara todo el espejo, comenzando en la entrada del río (Costa Anzorena) y finalizando en la zona de presa.

También se consideraron las zonas costeras, con sus correspondientes actividades turísticas y recreativas, y zona centro del embalse (Fig. 3). En total se establecieron 17 puntos de muestreo, con un número de réplica por sitio igual a dos (n=2). Las muestras de sedimentos fueron colectadas con una draga tipo Petersen y almacenadas en frascos de color ámbar. Posteriormente se siguió con el procedimiento descripto en la sección anterior.

Tratamiento y análisis de las muestras

Previo al análisis químico las muestras fueron secadas a 40 °C hasta pesada constante, siendo posteriormente homogeneizadas con mortero y tamizadas empleando un tamiz de acero de 40 mesh (0,425 mm).

Análisis fisicoquímico (pH, conductividad y materia orgánica):

Los análisis de materia orgánica fueron realizados según la norma IRAM-SAGPyA 29571-1. Conductividad y pH del suelo fueron realizados en los extractos de saturación (Allison et al., 1954).

Análisis por GC-MS/MS:

De cada estación de muestreo se tomó una alícuota de 5 g de muestra y mezcló con 5 g de Na2SO4. Posteriormente los analitos fueron extraídos un extractor Soxhlet durante 4 hs (Allchin et al., 1999) con una mezcla de 150 ml de acetona y hexano (1:1) conteniendo 5 g de cobre activado. El extracto fue reducido a un volumen aproximado de 20 ml y pasado a través de un cartucho de florisil el cual fue lavado con 9 ml de hexano. El eluato fue llevado a sequedad bajo corriente suave de N2 y reconstituido con 200 µl de isooctano para su posterior análisis por cromatografía gaseosa. La identificación y cuantificación de los picos fue realizada según el método de estándar agregado. Para la preparación de los patrones de cuantificación, se tomo una alícuota de 5 g de muestra por cada punto de muestreo y se prepararon patrones de 5 ng g-1 de cada congénere de PBDEs. Posteriormente fueron homogeneizadas y almacenadas al resguardo de la luz durante 4 hs para su estabilización (Salgado-Petinal et al., 2006). Las muestras de sedimento adicionadas fueron tratadas según la descripción anterior. Los análisis cromatográficos (GC-MS/MS) fueron realizados con un cromatógrafo de gases Varian 3900 equipado con detector de masas Varian Saturn 2000 con trampa de iones (Varian, Walnut Creek, CA, USA). El sistema fue operado por el software Saturn GC-MS WorkStation v6.4.1. La columna capilar fue VF-5ms (25m × 0,25 mm, 0,25 µm film thickness; Varian, Lake Forest, CA, USA). El programa de temperatura fue: 150 °C, mantenida por 1 min.; posteriormente se elevó 250 °C en una relación de 15 °C min-1; finalmente se llevó a 300 °C a un promedio de 10 °C min-1 y se mantuvo durante 7 min. El gas transportador utilizado fue Helio (pureza 99,999%) con un flujo de 1,0 mL min-1. La temperatura del inyector fue de 250 °C y las inyecciones fueron realizadas en el modo sin división. El espectrómetro de masas fue operado en el modo de ionización por impacto de electrones a 70 eV. La temperatura de la trampa, controlador de gases y línea de transferencia fueron programados en 220 °C, 50 °C y 280 °C, respectivamente. Las muestras se analizaron en el modo MS/MS. La identificación de los picos estuvo basada en los tiempos de retención de los compuestos y sus espectros de masa. La cuantificación de cada congénere se basó en el cromatograma del ion base del espectro MS/MS, empleando los fragmentos distintivos como iones de confirmación (Tabla 1).

Analitos	IUPAC	t_R (min.)	Ion Precursor (m/z)	Iones de cuantificación (m/z)
2,2´,4,4´-tetra-BDE	BDE-47	9,831	486 (± 8 u.m.a.)	324, 326, 328
2,2´,4,4´,6-penta-BDE	BDE-100	11,067	566 (± 8 u.m.a.)	402, 404, 406
2,2´,4,4´,5-penta-BDE	BDE-99	11,514	566 (± 8 u.m.a.)	402, 404, 406
2,2´,4,4',5,5´-hexa-BDE	BDE-153	13,192	644 (± 8 u.m.a.)	482, 484, 486

Tabla 1: GC-MS-SIR parámetros para la determinación de PBDEs

Los limites de detección de los analitos calculados como tres veces la relación señal-ruido (S/N=3) estuvieron en el rango de 3-7 pg g-1.

Análisis por espectrometría infrarroja

Los espectros de infrarrojos (IR) fueron realizados con un espectrómetro Spectrum 100 FTIR (PerkinElmer) con un detector DTGS, un interferómetro DynaScan, fuente estabilizada y ópticas de KBr cubiertas de Ge selladas y desecadas. El detector DTGS, de temperatura estabilizada, permite un rango de barrido de 7800 a 350 cm-1, una resolución de 0.5 cm-1 y una relación señal-ruido (S/N) = 7000/1 para un barrido de 5 segundos. El software del espectrómetro incluye un algoritmo de corrección de H20 y CO2 atmosférico. Se trabajó en modo de transmisión utilizando pellets de KBr (preparados con 230 mg de KBr y 1 mg de muestra). Las condiciones de adquisición de datos incluyeron una resolución 4 cm-1 y la adición de 8 interferogramas antes de la transformación de Fourier. El rango de barrido fue 4000 a 400 cm-1. Las asignaciones de bandas fueron realizadas de acuerdo con (Colthup et al., 1990), (Shurvell, 2002) y otros. Los datos semicuantitativos derivados de los espectros de IR se obtuvieron utilizando diferentes tratamientos de los espectros digitalizados: aplicación de métodos de integración de área (M. Sobkowiak and P. Painter, 1992.); cálculo de cocientes de áreas (Mastalerz and Bustin, 1993; D'Angelo, 2006) y procedimiento de autodeconvolución de Fourier (Kauppinen et al., 1981); empleado para la deconvolución de la zona de estiramiento C-H alifático (aprox. 2825-3000 cm-1). Definición de los cocientes semicuantitativos derivados de los espectros de IR Relación metileno metilo: se relaciona con la longitud y el grado de ramificación de las cadenas alifáticas laterales (mayor relación implica cadenas más largas y pocas ramificaciones)

Método multivariado

El análisis de componentes principales (PCA) es un método no paramétrico de reconocimiento de patrones que puede usarse para reducir la complejidad original de un sistema de datos multidimensionales. A partir de las variables originales que definen al sistema, el PCA encuentra nuevas variables hipotéticas (componentes principales) que explican tanto como es posible la variabilidad de los datos originales.

En general, reducir el número de variables utilizadas para describir los datos conduce a alguna pérdida de información (varianza) pero permite que la visualización de los datos sea sencilla y su interpretación menos compleja. El PCA se realizó sobre un conjunto de datos que incluyeron variables fisicoquímicas, variables derivadas de espectros de FTIR y concentraciones de materia orgánica y de PBDEs. Se utilizó el programa STATISTICA® (StatSoft, 2001).

RESULTADOS

Determinaciones de PBDEs en muestras de barros y sedimentos mediante GC-MS/MS

La Tabla 2 muestra las concentraciones promedio de PBDEs en muestras de barros y sedimentos provenientes del embalse El Carrizal. Los congéneres de PBDEs más abundantes fueron BDE-47, BDE-99 y BDE-153 con una suma total de concentraciones de 179,1, 15,3 y 9,8 pg g-1 respectivamente. Los valores mas significativos fueron encontrados en la costa sur-este del embalse en las proximidades de campins y clubes náuticos.

Ref.	Profundidad (m)	PBDE (pg g^{-1})				ΣPBDEs
		BDE-47	BDE-100	BDE-99	BDE-153	
C01	14	n.d	n.d	n.d	n.d	-
C03	22	n.d	n.d	n.d	n.d	-
C04	10	n.d	n.d	n.d	n.d	-
C05	10	n.d	n.d	n.d	n.d	-
C06	22	n.d	n.d	n.d	n.d	-
C07	13	n.d	n.d	n.d	n.d	-
C09	12	n.d	n.d	n.d	n.d	-
C10	1	n.d	n.d	n.d	n.d	-
C11	5	n.d	n.d	n.d	n.d	-
C12	10	n.d	n.d	n.d	n.d	-
C13	30	n.d	<LOQ	<LOQ	n.d	-
C14	15	163	n.d	n.d	n.d	**163**
C15	20	n.d	n.d	n.d	n.d	-
C16	1	n.d	n.d	n.d	n.d	-
C18	0,5	n.d	n.d	n.d	n.d	-
C19	1	n.d	n.d	n.d	n.d	-
C20	1	16,1	4,7	15,3	9,8	**45,9**
ΣPBDE		**179,1**	**4,7**	**15,3**	**9,8**	**208,9**

LOQ= Limite de cuantificación: 11,4 pg g^{-1}; 10,0 pg g^{-1}; 18,6 pg g^{-1}; 24 pg g^{-1} para BDE-47, BDE-100, BDE-99 y BDE-153 n.d= no detectable

Tabla 2: Concentración de PBDEs en muestras de barros y sedimentos del embalse El Carrizal (pg g^{-1} peso seco)

La Tabla 3 muestra las concentraciones de PBDEs presente en ríos y canales de riego de zonas medias y bajas de la cuenca del Río Mendoza. Los congéneres de PBDEs más abundantes fueron BDE-47, BDE-100 y BDE-99 con una suma total de concentraciones de 1499,9; 1644,1 y 1273,6 pg g-1 respectivamente. La Fig. 4 representa un cromatograma para una muestra de sedimentos proveniente del Desagüe Moyano (Ref. M44). En el análisis cromatográfico de las muestras se observaron algunos corrimientos significativos en los tiempos de retención y efectos de matriz. Estas conclusiones fueron obtenidas mediante el análisis de muestras adicionadas con una mezcla de 0,5 ng g-1 de BDE-47, -100, -99 y -153. Por tal motivo se decidió realizar la cuantificación de los congéneres mediante el método de estándar agregado el cual contempla estas interferencias (Quattrocchi et al., 1992).

Ref	Descripción	PBDE (pg g^{-1})				ΣPBDEs
		BDE-47	BDE-100	BDE-99	BDE-153	
M11	Canal Civit	n.d	n.d	n.d	n.d	-
M12	Canal Jarillal	n.d	n.d	n.d	n.d	-
M13	Dique Cipolletti	n.d	n.d	n.d	n.d	-
M23	Hijuela M 2da Guiñazú	n.d	n.d	n.d	n.d	-
M24	Hijuela Palma	n.d	n.d	n.d	n.d	-
M25	Hijuela Pereyra	n.d	n.d	n.d	n.d	-
M26	Canal Pescara (aguas arriba)	n.d	n.d	n.d	n.d	-
M27	Canal Naciente	n.d	n.d	n.d	n.d	-
M28	Arroyo Negro	n.d	n.d	n.d	n.d	-
M29	Pescara (Cámara de mezcla)	58,7	<LOQ	<LOQ	<LOQ	**58,7**
M30	Dique el Algarrobal	n.d	n.d	n.d	n.d	-
M31	Desagüe Jocoli	96,8	114,8	39,8	63,4	**314,8**
M32	Canal Chachingo	n.d	n.d	n.d	n.d	-
M33	Arroyo Fernández	178,2	144,1	67,5	68,9	**458,7**
M34	Arroyo Tulumaya	<LOQ	47,1	54,1	n.d	**101,2**
M35	Basural Pescara	n.d	n.d	n.d	n.d	-
M35A	Basural Pescara – Aux. Tulum	n.d	n.d	n.d	n.d	-
M37	Arroyo Santos Lugares	12,3	<LOQ	<LOQ	<LOQ	**12,3**
M38	Canal San Pedro y San Pablo	n.d	n.d	n.d	n.d	-
M39	Natalio Estrella	n.d	n.d	n.d	n.d	-
M40	Concepción California	n.d	n.d	n.d	n.d	-
M41	Canal G. Segura y Estrella	n.d	n.d	n.d	n.d	-
M42	Colector final (Costa de Araujo)	n.d	n.d	n.d	n.d	-
M43	Cuadruple Comparto (Jocoli)	14,7	<LOQ	<LOQ	<LOQ	**14,7**
M44	Desagüe Moyano	1122,9	1338,1	1112,2	593	**4166,2**
M46	Hijuela Guaymallén	n.d	n.d	n.d	n.d	-
M47	Canal Jocoli	n.d	n.d	n.d	n.d	-
M59	Canal Naciente	n.d	n.d	n.d	n.d	-
M62	Canal Cachingo (Aguas Arriba)	n.d	n.d	n.d	n.d	-
M65	Paramillo	n.d	n.d	n.d	n.d	-
ΣPBDE		**1483,6**	**1644,1**	**1273,6**	**725,3**	**5126,6**

LOQ= Limite de cuantificación: 11,4 pg g^{-1}; 10,0 pg g^{-1}; 18,6 pg g^{-1}; 24 pg g^{-1} para BDE-47, BDE-100, BDE-99 y BDE-153. n.d= no detectable

Tabla 3: Concentración de PBDEs en muestras de barros y sedimentos de la zona media y baja de la cuenca del Río Mendoza (pg g-1 peso seco)

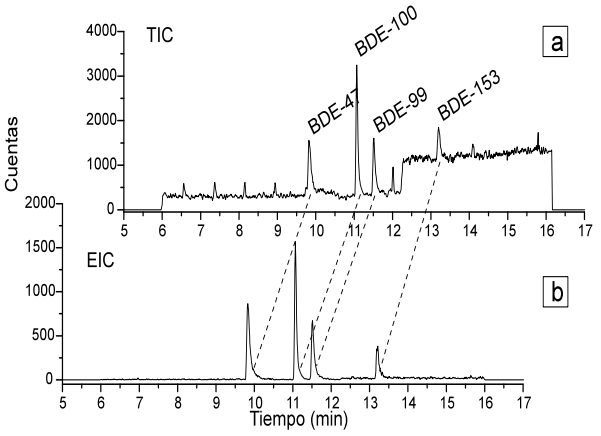


Fig. 4. Cromatograma de sedimentos provenientes de Desagüe Moyano (Ref. M44). 4a. Cromatograma de Iones Totales (300-650 u.m.a) 4b. Cromatograma de Iones Extraídos: 324, 326 y 328 para BDE-47; 402, 404 y 406 para BDE-100 y -99; 482, 484, 486 para BDE-153

Caracterización de la materia orgánica por espectrometría de infrarrojo con transformada de Fourier

En los espectros de IR de las muestras estudiadas se puedo observar la presencia de compuestos alifáticos y aromáticos. En la zona comprendida entre 2800 a 3000 cm-1 se encontraron los picos correspondientes a los estiramientos C-H alifático. Entre los 3000 y 3100 cm-1 los picos asignados a los estiramientos C-H aromáticos (ver Fig. 5). También puedo

observarse, entre 1600 y 1800 cm-1, la zona correspondiente a los estiramientos C=C en compuestos aromáticos junto con la contribución combinada de grupos que contienen oxígeno. En primer lugar se determinaron las áreas de cada una de las zonas utilizando un programa de procesamiento de espectros de IR (OMNIC). Posteriormente, se obtuvieron cocientes de áreas, los cuales son explicados en la Tabla 4. La banda correspondiente a la zona 2800 – 3000 cm-1 (estiramientos C-H alifáticos de CH2 y CH3) fue sometida a una autodeconvolución de Fourier, cuyo objetivo es la separación de bandas. De esta manera, se obtuvieron cuatro picos (que corresponden a estiramientos C-H de metilenos y metilos) que posteriormente fueron usados para calcular la relación CH2/CH3.

Relación	Región (cm^{-1}) Cocientes de áreas	Interpretación de las relaciones y comentarios
CH_2/CH_3	(2800 a 3000)	**Relación metileno/ metilo (CH_2/CH_3).** Este cociente se relaciona con la longitud de cadena alifática y el grado de ramificación de grupos alifáticos laterales. *Interpretación*: Mientras mayor es la relación CH_2/CH_3 más lineales y largas son las cadenas, y cuanto menor es dicha razón, el largo de la cadena hidrocarbonada disminuye y aumentan las ramificaciones
Al/Ox	(2800 a 3000) / (1600 a 1800)	**Relación alifático/compuestos que contienen oxígeno (Al/Ox).** La contribución relativa de bandas de estiramiento alifático (Al) a la contribución combinada de grupos que contienen oxígeno y carbono aromático (Ox). *Interpretación*: A mayor relación Al/Ox sugiere una disminución de grupos que contienen oxígeno versus los alifáticos, y viceversa.

Tabla 4. Cocientes de áreas obtenidos a través de los espectros IR. Interpretación de dichas relaciones

Análisis de datos mediante PCA

En el análisis estadístico mediante PCA se consideraron las muestras mayormente sospechadas de presentar PBDEs según estudios preliminares (Lana et al., 2008). En este estudio no fue posible incluir la totalidad de las mismas por cuestiones de tiempo debido el gran número las muestras colectadas. Estudios posteriores incluirán las restantes.
El PCA incluyó 15 muestras de barros y sedimentos de la zona media y baja de la cuenca del Río Mendoza. Los datos incluyeron 9 variables (materia orgánica, pH, conductividad eléctrica, concentraciones de BDE-47, BDE-100, BDE-99, BDE-153, CH2/CH3 y Al/Ox) y 15 determinaciones (matriz de 9 por 15). En la Tabla 5 se muestra la matriz de datos químicos y fisicoquímicos de las muestras estudiadas.

La matriz de correlación se muestra en la Tabla 6. La solución aceptada de tres componentes se muestra en la Tabla 7. Aquí se puede ver que las tres primeras componentes explican el 78.3% de la varianza total del sistema. En la Fig. 7 se observa que las muestras M29, M31, M33, M34 y M43, están ubicadas fundamentalmente en los cuadrantes dominados los congéneres de PBDEs (variables que explican la componente principal 1, ver Tabla 7 y Fig. 7). La única excepción es la muestra M37 caracterizada por sus bajas concentraciones de PBDEs y su elevado valor de C.E.

Muestra	Materia Orgánica (g/Kg)	pH	C.E. (µs/cm)	BDE-47	BDE-100	BDE-99	BDE-153	CH2/CH3	Al/Ox
M12	11,357	5,5	1023	0	0	0	0	1	1,51
M25	26,584	5	2280	0	0	0	0	2,4	0,6
M26	25,600	5	3030	0	0	0	0	2,6	0,74
M28	59,571	5,5	3710	0	0	0	0	2,3	0,31
M29	45,160	6	4160	58,7	10	18,6	24	1,8	0,48
M30	11,947	5	1569	0	0	0	0	2,2	0,73
M31	10,301	5	1145	96,8	114,8	39,8	63,4	1,1	0,54
M33	14,882	7,47	1796	178,2	144,1	67,5	68,9	1,2	0,69
M34	23,126	7,24	1826	11,4	47,1	54,1	0	1,8	0,31
M35A	5,780	7,29	1926	0	0	0	0	2,3	0,2
M37	18,553	4,5	3780	12,3	10	18,6	24	1,6	0,29
M42	14,316	7,27	2730	0	0	0	0	3	0,07
M43	11,306	5,5	5580	14,7	10	18,6	24	0,9	0,25
M47	10,402	7,8	2480	0	0	0	0	1,6	0,43
M65	14,953	5	5430	0	0	0	0	1,7	0,1

Tabla 5. Matriz de datos químicos y fisicoquímicos de las muestras estudiadas

Tabla 6. Matriz de correlación

	Mat. Org.	pH	C. E.	BDE-47	BDE-100	BDE-99	BDE-153	CH2/CH3	Al/Ox
Mat. Org.	1	-0.191912	0.302097	-0.056127	-0.176806	-0.074456	-0.137729	0.299898	-0.0906
pH	-0.191912	1	-0.276549	0.218871	0.215579	0.289104	0.006813	0.086066	-0.212212
C. E.	0.302097	-0.276549	1	-0.225284	-0.371978	-0.218397	-0.122057	-0.033147	-0.553115
BDE-47	-0.056127	0.218871	-0.225284	1	0.926951	0.804383	0.926552	-0.45784	0.135439
BDE-100	-0.176806	0.215579	-0.371978	0.926951	1	0.883405	0.893696	-0.474967	0.104581
BDE-99	-0.074456	0.289104	-0.218397	0.804383	0.883405	1	0.758216	-0.492169	-0.010473
BDE-153	-0.137729	0.006813	-0.122057	0.926552	0.893696	0.758216	1	-0.578864	0.063879
CH2/CH3	0.299898	0.086066	-0.033147	-0.45784	-0.474967	-0.492169	-0.578864	1	-0.331227
Al/Ox	-0.0906	-0.212212	-0.553115	0.135439	0.104581	-0.010473	0.063879	-0.331227	1

Tabla 7. Solución aceptada de tres componentes después de rechazar los componentes con autovalores menores que la unidad.

Variable	Componente 1	Componente 2	Componente 3	Varianza
Mat. Org.	-0.24846	-0.46601	-0.20657	32.16
pH	0.23171	0.04285	0.8673	80.77
CE	-0.35574	-0.78542	-0.29953	83.32
BDE-47	0.93571	-0.161	0.00742	90.15
BDE-100	0.96678	-0.06822	0.07532	94.50
BDE-99	0.88808	-0.20876	0.12549	84.80
BDE-153	0.91657	-0.22065	-0.17283	91.87
CH2/CH3	-0.63019	-0.05588	0.47283	62.38
Al/Ox	0.21008	0.78024	-0.44585	85.17
Autovalores	4.12226	1.57061	1.3583	7.05117
Varianza explicada acumulada (%)	45.8029	63.2542	78.3464	

Las muestras M25, M26, M30, M35A y M47 se agrupan de acuerdo con sus elevados valores de la relación Al/Ox y moderados a bajos valores de materia orgánica y C.E., respectivamente (variables que explican la componente principal 2, ver Tablas 5, 7 y Fig. 7). No se detectaron PBDEs en este sub-grupo de muestras.

La muestra M12, en la que no se detectaron PBDEs, posee características particulares, ubicándose alejada de las demás. Esto puede explicarse por su elevado valor de la relación Al/Ox (el más alto de todas las muestras estudiadas). Esto podría indicar una mayor oxidación de la materia orgánica evidenciada por la disminución de los picos en la zona 1600-1800 cm-1 de los espectros de IR (disminución del área del pico Ox y el respectivo aumento de la relación Al/Ox).

Las muestras M28, M42 y M65 se agrupan en el cuadrante dominado por materia orgánica, conductividad eléctrica y CH2/CH3. Estas muestras son las que, en efecto, presentan los mayores valores de conductividad eléctrica y contenido de materia orgánica y en las que tampoco se detectaron PBDEs.

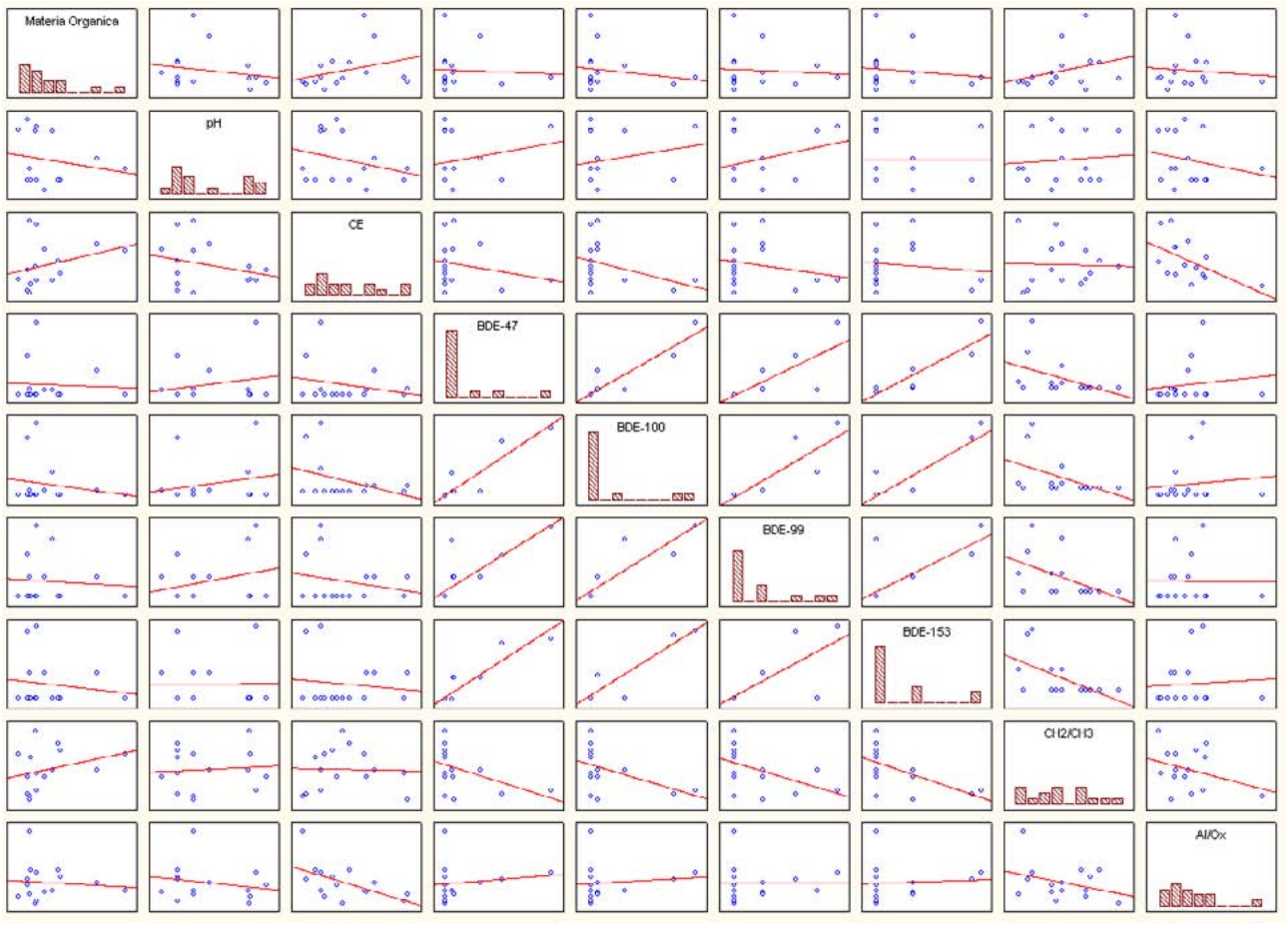


Fig. 6: Matriz de correlación

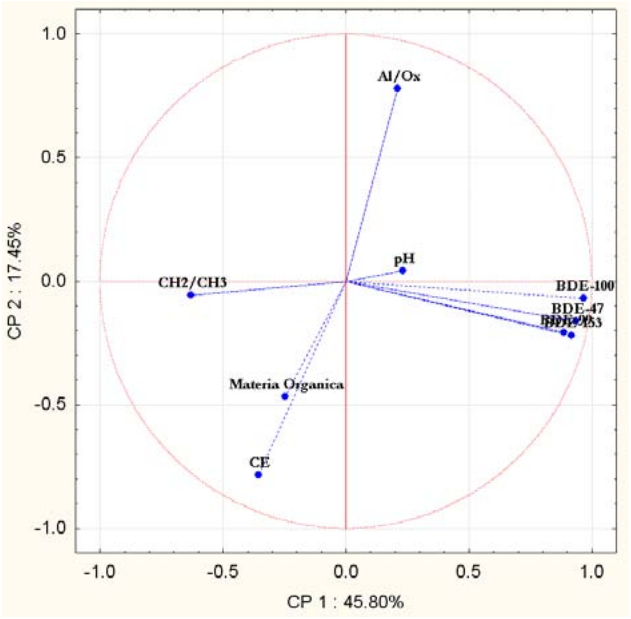


Fig. 7: Representación de las variables en el plano definido por las componentes 1 y 2

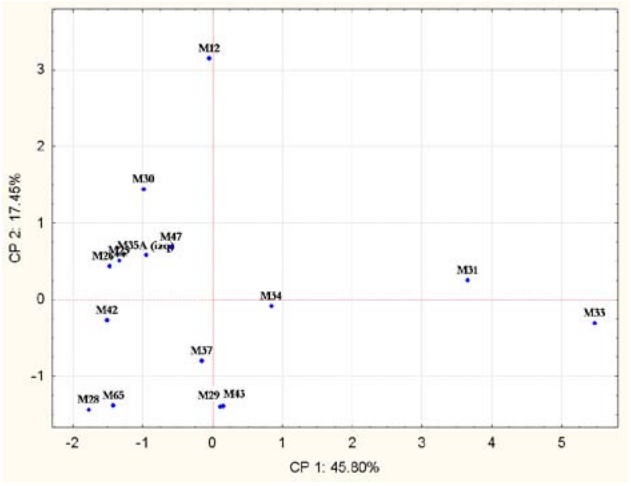


Fig. 8. Representación de las muestras en el plano definido por las componentes 1 y 2

DISCUSIÓN

Este es el primer estudio que reporta la presencia de PBDEs en barros y sedimentos en Argentina y en particular en la Cuenca del Río Mendoza. En un estudio preliminar realizado por nuestro equipo de investigación en las aguas superficiales de la mencionada cuenca se encontró que el BDE-47 fue el congenere mas abundante, lo cual concuerda con los datos reportados en la bibliografía para este tipo de muestras (Ikonomou et al., 2002; Hale et al., 2006). Este resultado puede ser explicado teniendo en cuenta las polaridades de los compuestos. Los PBDEs con menor numero de átomos de bromo (Tabla 1) presentan mayor carácter polar que aquellos congéneres con un número mayor (Braekevelt et al., 2003; Yogui and Sericano, 2009). En lo que respecta a los resultados de las muestras de barros y sedimentos, se encontraron concentraciones de estos cuatro congéneres significativamente mayores que en las muestras de agua de las mismas estaciones de muestreo. Estos resultados condicen con (Oros et al., 2005) quien reporta que los PBDEs presentan una gran afinidad por la materia orgánica presente en este tipo de muestras. En base a estos resultados significativos es de interés del grupo de investigación ampliar las regiones de estudio en futuras campañas de muestreo considerando las zonas con menor actividad antrópica.

El canal Pescara (Ref. M26 y M29) es un conducto artificial utilizado para riego agrícola y colector industrial. El canal tiene una longitud de de 15 km y en su recorrido es posible encontrar un tramo a cielo abierto (Ref. M26) y otro cuyas aguas vienen en un ducto cerrado. En este acueducto aproximadamente 60 establecimientos industriales vuelcan sus efluentes (OIKOS, 2004). Ambos tramos (abierto y cerrado) confluyen a una cámara de mezcla (Ref. M29) donde continúan su recorrido a cielo abierto. Posteriormente se une con el canal Auxiliar Tulumaya (Ref M34) y finalizan su recorrido en el departamento de Lavalle donde irrigan aproximadamente 7000 hectáreas de cultivo. Por otro lado, el arroyo Fernandez (Ref. M33) y Santos Lugares (Ref. 37) constituyen canales de riego y reciben los desagües provenientes de la zona urbana, industrial y agrícola. Por tal motivo es factible encontrar este tipo de contaminante cuyo origen está relacionado con actividades antrópicas.

Desagüe Moyano, Cuadruple Comparto, Desagüe Jocoli y Paramillos (Ref. M44, M43, M47 y M65 respectivamente) son canales colectores que reciben efluentes de las plantas de tratamiento de líquidos cloacales. De acuerdo con (Law et al., 2006) los lodos y barros residuales son considerados una de las matrices que mayormente acumulan PBDEs. Los valores hallados en el presente trabajo son menores a los reportados en la bibliografía para este tipo de muestras (North, 2004). Sin embargo son notoriamente superiores a los valores hallados en el resto de las muestras analizadas en el presente estudio. El análisis de la matriz de correlación (Tabla 6 y Fig. 6) indica que las correlaciones existentes entre las concentraciones de los distintos congéneres de PBDEs y las variables estudiadas (químicas y fisicoquímicas) no son superiores a 0,58 en ninguno de los casos, es decir, existe poca dependencia (entendida como relación lineal) entre las distintas variables (considerando el número de variables y el número de muestras aquí estudiadas). Si embargo, resultan interesantes las correlaciones observadas (negativas; $r > - 0,46$) entre las concentraciones de PBDEs y las relaciones CH2/CH3 (derivadas de espectros de FT-IR) de los componentes alifáticos de la materia orgánica encontrada en cada muestra (ver Tabla 6 y Fig. 6). La correlación más alta encontrada ($r = -0.578864$) corresponde al congénere BDE-153. Esto podría indicar una relación de proporcionalidad inversa entre el contenido PBDEs y la relación CH2/CH3. Así, por ejemplo, se podría decir que al disminuir la relación CH2/CH3 aumentaría el contenido de PBDEs (por otro lado la Tabla 5 indica que las muestras con los mayores valores de la relación CH2/CH3 no registran PBDEs). Como se menciono anteriormente, una menor relación CH2/CH3 indicaría cadenas laterales más cortas y/o más ramificadas (Lin and Ritz, 1993a, 1993b). La disminución de la relación CH2/CH3 podría estar asociada con la ruptura de cadenas laterales alifáticas (Guo and Bustin, 1998) presentes en la materia orgánica de los sedimentos. Esto, finalmente, estaría de acuerdo con la afinidad existente entre los PBDEs y la materia orgánica presente en este tipo de muestras (Oros et al., 2005) a lo que se podría agregar la característica de degradación de la materia orgánica (bajas relaciones CH2/CH3).

CONCLUSIÓN

Si bien en la República Argentina aún no se había estudiado la presencia de PBDEs en el ambiente, era de sospechar que estuviesen presente en nuestros ecosistemas debido a que muchos materiales poliméricos son empleados domestica e industrialmente en el territorio nacional. Además, las propiedades fisico-químicas de los mismos le confieren una alta afinidad al material particulado presentes en corrientes de agua y aire por lo que son fácilmente transportados en estos medios. Además su notoria estabilidad química, hace posible encontrar concentraciones elevadas en muestras de sedimento, siendo el caso de los ecosistemas estudiados. Estas características de transporte y acumulación que presentan los PBDEs se encuentran favorecidas por aquellos sustratos donde la materia orgánica presenta mayor estado de degradación. Como se propone aquí, esto podría estudiarse utilizando espectrometría infrarroja semi-cuantitativa y calculando algunas relaciones de áreas derivadas de los espectros de IR. Por ejemplo, bajas relaciones CH2/CH3 indicarían cadenas laterales cortas y/o ramificadas producidas

por la degradación (ruptura de enlaces) de cadenas hidrocarbonadas largas unidas a macromoléculas.
Si bien los niveles de PBDEs presentes en las muestras de barros y sedimentos provenientes de la Cuenca del Río Mendoza y embalse El Carrizal son menores a los reportados por la bibliografía, no hay que desestimar la exposición de la población a estos nuevos contaminantes de los cuales disponemos poca información sobre su presencia y distribución en nuestros ecosistemas.

Sin duda alguna, debido a la implicancia que este nuevo grupo de contaminantes persistentes tiene sobre el ambiente y la salud, es de interés local y regional su análisis cuali- y cuantitativo. Por este motivo, en futuros trabajos de investigación, el mayor esfuerzo será volcado al estudio de estos compuestos en otras muestras ambientales sospechadas de contaminación.

AGRADECIMIENTOS

Esta investigación fue realizada gracias al aporte realizado por el Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Tecnológicas (CONICET), Agencia Nacional de Promoción Científica y Tecnológica (FONCYT) y Dirección de Estudios Tecnológicos e Investigaciones (DETI- Facultad de Ingeniería -Universidad Nacional de Cuyo).

BIBLIOGRAFÍA

- 2002/95/CE, D. 2003. http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2003:037:0019:0023:ES:PDF
- Alaee, M., Arias, P., Sjödin, A., Bergman, Å., 2003. An overview of commercially used brominated flame retardants, their applications, their use patterns in different countries/regions and possible modes of release. Environ. Int. 29, 683-689.
- Allchin, C.R., Law, R.J., Morris, S., 1999. Polybrominated diphenylethers in sediments and biota downstream of potential sources in the UK. Environ Pollut 105, 197-207.
- Allison, L.E., Brown, J.W., Hayward, H.E., Richards, L.A., 1954. Diagnóstico y Rehabilitación de Suelos Salinos y Sódicos L.A. Richards.
- Braekevelt, E., Tittlemier, S.A., Tomy, G.T., 2003. Direct measurement of octanol-water partition coefficients of some environmentally relevant brominated diphenyl ether congeners. Chemosphere 51, 563-567.
- Canada Gazette. 2007. http://www.canadagazette.gc.ca/archives/p1/2006/2006-12-16/pdf/g1-14050.pdf
- Colthup, N.B., Daly, L.H., Wiberley, S.E., 1990. Introduction to Infrared and Raman Spectroscopy. New York, 547 pp.
- Corsolini, S., Covaci, A., Ademollo, N., Focardi, S., Schepens, P., 2006. Occurrence of organochlorine pesticides (OCPs) and their enantiomeric signatures, and concentrations of polybrominated diphenyl ethers (PBDEs) in the Adélie penguin food web, Antarctica. Environ Pollut 140, 371-382.
- D'Angelo, J.A., 2006. Analysis by Fourier transform infrared spectroscopy of Johnstonia
- (Corystospermales, Corystospermaceae) cuticles and compressions from the
- Triassic of Cacheuta, Mendoza, Argentina 43 (4), 669–685.
- Darnerud, P.O., Eriksen, G.S., Joìhannesson, T., Larsen, P.B., Viluksela, M., 2001. Polybrominated diphenyl ethers: Occurence, dietary exposure, and toxicology. Environ. Health Persp. 109, 49-68.
- Guo, Y., Bustin, R.M., 1998. Micro-FTIR spectroscopy of liptinite macerals in coal 36 (3-4), 259-275.
- Hale, R.C., La Guardia, M.J., Harvey, E., Gaylor, M.O., Mainor, T.M., 2006. Brominated flame retardant concentrations and trends in abiotic media. Chemosphere 64, 181-186.
- Ikonomou, M.G., Rayne, S., Addison, R.F., 2002. Exponential increases of the brominated flame retardants, polybrominated diphenyl ethers, in the Canadian Arctic from 1981 to 2000. Environ. Sci. Technol. 36, 1886-1892.
- INDEC. 2004. National Institute of Statistics and Censuses of the Argentine Republic. http://www.indec.mecon.gov.ar/
- Kauppinen, J.K., Moffatt, D.J., Mantsch, H.H., Cameron, D.G., 1981. Fourier transform in the computation of self-deconvoluted and first order derivative spectra of overlapped band contours. 53, 1454-1457.
- Lana, N.B., Fontana, A.R., Silva, M.F., D'Angelo, J.A., W.Volkheimerb, Ciocco, N.F., Altamiranob, J., 2008. Determinación de contaminantes persistentes del ambiente (polibrominados difenil éteres) en aguas superficiales de la cuenca del Río Mendoza mediante cromatografía gaseosa con detección de masas. XVII CONGRESO GEOLOGICO ARGENTINO, San Salvador de Jujuy, Argentina, pp. 1148-1149.
- Law, R.J., Allchin, C.R., de Boer, J., Covaci, A., Herzke, D., Lepom, P., Morris, S., Tronczynski, J., de Wit, C.A., 2006. Levels and trends of brominated flame retardants in the European environment. Chemosphere 64, 187-208.
- Law, R.J., Herzke, D., Harrad, S., Morris, S., Bersuder, P., Allchin, C.R., 2008. Levels and trends of HBCD and BDEs in the European and Asian environments, with some information for other BFRs. Chemosphere 73, 223-241.
- Lin, R., Ritz, G.P., 1993a. Reflectance FT-IR microspectroscopy of fossil algae contained in organic-rich shale. 47, 265- 271.
- Lin, R., Ritz, G.P., 1993b. Studying individual macerals using i.r. microspectroscopy, and implications on oil versus gas/condensate proneness and "low-rank"

generation. 20, 695-706.
- M. Sobkowiak, P. Painter, 1992. Determination of the aliphatic and aromatic CH contents of coals by FT-i.r.: studies of coals extracts. 71, 1105-1125.
- Mastalerz, M., Bustin, R.M., 1993. Electron microprobe and micro-FTIR analyses applied to Maceral chemistry. 24, 333-345.
- North, K.D., 2004. Tracking polybrominated diphenyl ether releases in a wastewater treatment plant effluent, Palo Alto, California. Environ. Sci. Technol. 38, 4484-4488.
- OIKOS. 2004. Oikos Environmental network. http://www.oikosredambiental.org.ar/documentos/canalpescara.pdf
- Oros, D.R., Hoover, D., Rodigari, F., Crane, D., Sericano, J., 2005. Levels and distribution of polybrominated diphenyl ethers in water, surface sediments, and bivalves from the San Francisco. Environ. Sci. Technol. 39, 33-41.
- Polder, A., Gabrielsen, G.W., Odland, J.O., Savinova, T.N., Tkachev, A., Loken, K.B., Skaare, J.U., 2008. Spatial and temporal changes of chlorinated pesticides, PCBs, dioxins (PCDDs/PCDFs) and brominated flame retardants in human breast milk from Northern Russia. Sci. Total Environ. 391, 41-54.
- Públicas, S.d.O. 2004. Estadistica Hidrológica de la República Argentina 2004. Subsecretaría de Recursos Hídricos,http://www.hidricosargentina.gov.ar/estad2004/sus-1412.htm
- Quattrocchi, O.A., Andrizzi, S.A.d., Laba, R.F., 1992 Introducción a la HPLC, aplicación y práctica.
- Salgado-Petinal, C., Llompart, M., García-Jares, C., García-Chao, M., Cela, R., 2006. Simple approach for the determination of brominated flame retardants in environmental solid samples based on solvent extraction and solid-phase microextraction followed by gas chromatography-tandem mass spectrometry. 1124, 139-147.
- Sellström, U., Kierkegaard, A., De Wit, C., Jansson, B.O., 1998. Polybrominated diphenyl ethers and hexabromocyclododecane in sediment and fish from a Swedish River. Environ. Toxicol. Chem. 17, 1065-1072.
- Shurvell, H.F., 2002. Spectra-Structure Correlations in the Mid- and Far-infrared. Vol 3. Sample Characterization and Spectral Data Processing. John Wiley & Sons Ltd, Chichester, UK 611 pp.
- StatSoft, I., 2001. STATISTICA (data analysis software system). version 6, www.statsoft.com.
- Tang, B.H., Zhu, L.Y., Zhou, Q.X., 2008. Environmental pollution by polybrominated diphenyl ethers (PBDEs) and their ecological chemical behaviors: A review. Chin. J. Ecol. 27, 96-104.
- Teclechiel, D., Sundström, M., Marsh, G., 2009. Synthesis of polybrominated diphenyl ethers via symmetrical tetra- and hexabrominated diphenyliodonium salts. Chemosphere 74, 421-427.
- Ter Schure, A.F.H., Agrell, C., Bokenstrand, A., Sveder, J., Larsson, P., Zegers, B.N., 2004. Polybrominated diphenyl ethers at a solid waste incineration plant II: Atmospheric deposition. Atmos. Environ. 38, 5149-5155.
- Thomsen, C., Småstuen Haug, L., Leknes, H., Lundanes, E., Becher, G., Lindström, G., 2002. Comparing electron ionization high-resolution and electron capture low-resolution mass spectrometric determination of polybrominated diphenyl ethers in plasma, serum and milk. Chemosphere 46, 641-648.
- Yogui, G.T., Sericano, J.L., 2009. Polybrominated diphenyl ether flame retardants in the U.S. marine environment: A review. Environ. Int.

SOLUCIONES BIOLÓGICAS PARA LA RECUPERACION DE SUELOS CONTAMINADOS CON PETROLEO

López, C.; Cantero, J.; Gálvez, J; Tettamanti, G. ; Vardaro, S.; DiPaola, M.; Pineda, I. y Ercoli, E.

Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Cuyo

Introducción

Los impactos ecológicos producidos por derrame de hidrocarburos constituyen un ejemplo de deterioro de los ecosistemas. Los suelos afectados por actividades de explotación y producción petrolera son recuperados eficientemente mediante técnicas de biorremediación, que utilizan las habilidades catalíticas de los organismos vivos para degradar y transformar contaminantes tanto en ecosistemas terrestres como acuáticos. En los procesos de biorremediación el contaminante es destruido o alterado a una forma menos tóxica, mientras el suelo es recuperado. Las soluciones biotecnológicas son ambientalmente seguras. El proceso de biodegradación de moléculas orgánicas en suelo se basa esencialmente en la actividad de microorganismos degradadores que requieren determinadas condiciones nutricionales y ambientales para su crecimiento y actividad metabólica, tales como oxígeno, humedad, nitrógeno, fósforo y temperatura. La aplicación de técnicas de biología molecular al estudio de la microbiología del suelo representa un importante avance en el conocimiento de estos ecosistemas. El suelo puede ser visto como un ecosistema, en el que existen una fase sólida, una fase líquida y una gaseosa, y donde conviven los microorganismos del suelo en interacción con su microambiente. Esta comunidad microbiana comprende una serie de grupos que cumplen distintos roles funcionales. Los microorganismos en el suelo pueden ser considerados como la fracción más activa de la materia orgánica, con tiempos de recambio muy cortos, que cumplen una función determinante en el ciclaje de nutrientes tales como C, N, P y S. Esta fracción, junto con las raíces y la micro y mesofauna del suelo, conforman aproximadamente el 4% de la materia orgánica viva. El resto está formado por la fracción ligera y el humus. La manipulación de la biomasa microbiana a través de cambios en el microambiente del suelo conduce a cambios en la estructura de la comunidad microbiana. La biomasa microbiana, como fracción lábil de la materia orgánica, es la encargada de la descomposición de los residuos orgánicos que entran al suelo.

En el caso biodegradación de moléculas orgánicas hidrofóbicas, la biorremediación de suelos es controlada por tres principales procesos: transferencia de oxígeno desde el aire a la solución acuosa, transferencia de contaminante desde el suelo a la solución acuosa, y tasa de biodegradación del contaminante en la solución acuosa. En general la tasa de transferencia de masa es menor que la tasa de transferencia de oxígeno y la tasa de biodegradación, y suele ser la etapa que controla el proceso. Una limitación de la biorremediación es la eficiencia de la biodegradación. La baja tasa de biodegradación suele ser el resultado de la limitada accesibilidad al contaminante. Las principales razones de la reducida biodisponibilidad son la distribución espacial no uniforme de microorganismos y contaminantes, y el retardo de la disolución de sustrato por la matriz suelo. El mezclado mecánico del suelo y la adición de agentes surfactantes son adecuadas para mejorar la biodisponibilidad. La decisión de cuando un proceso biológico es efectivo para remediar un sitio es a menudo compleja y dependiente de condiciones específicas de sitio tales como las propiedades de la matriz ambiental contaminada (suelo, sedimento, agua), de los contaminantes presentes (propiedades fisicoquímicas, biodegradabilidad, etc) y de la ecología microbiana. Estas técnicas, consideradas la más ecológicas, sencillas y económicas, deben competir con otras tecnologías físicas y químicas. Cuando se trata de derrames de petróleo crudo con importantes contenidos de hidrocarburos de alto peso molecular, acompañados de agua de producción, requieren de largos períodos de tratamiento. El aumento de la velocidad de degradación de estos procesos ha sido un objetivo fuertemente buscado en el campo de la investigación científica y técnica. Actualmente para mejorar el rendimiento de los procesos de biorremediación se emplean diversas técnicas que incluyen el uso de agentes surfactantes, enmiendas orgánicas e inorgánicas, agentes oxidantes y nanopartículas, entre otras. En este trabajo se presentan algunos resultados obtenidos por el agregado de material lignino celulósicos como agente de volumen y fuente de compuestos fitoquímicos, beneficiosos por su elevado contenido de sustancias extractivas y estimulantes de la microflora productora de exoenzimas y biosurfactantes. Se observa una considerable disminución de las concentraciones de hidrocarburos de alto peso molecular, con el agregado de cortezas de madera.

La restauración de un suelo contaminado se inicia con la desorción del contaminante de la fase sólida en la que se

encuentra alojado. La corteza de los árboles constituye una fuente importante de compuestos químicos que por su elevado contenido de sustancias extractivas, constituye una fuente importante de fitoquímicos. Especial interés se ha despertado en la utilización de este material como agente de volumen, por lo sencillo del procedimiento y la necesidad de encontrar soluciones rápidas a la falta de fertilizantes y a los problemas de conservación de los suelos. Mejorando las variables intervinientes en los procesos de biorremediación de suelos, se favorecen una variedad de sistemas que utilizan organismos vivos (plantas, hongos, bacterias, etc.) para degradar, transformar o remover compuestos orgánicos tóxicos a productos metabólicos inocuos o menos tóxicos. Esta estrategia biológica depende de las actividades catabólicas de los organismos, y por consiguiente de la utilización de los contaminantes como fuente de alimento y energía. Para que esto ocurra, es necesario favorecer las condiciones para el crecimiento y la biodegradación. Con los materiales lignino celulósicos adicionados como agente de volumen, se logra optimizar el balance de nutrientes (C/N), la actividad microbiana, y mantener la generación de calor y humedad necesarios para el proceso. En este trabajo se propone la incorporación de agregados lignino celulósicos como facilitadores de los procesos de biorremediación de suelos contaminados con hidrocarburos.

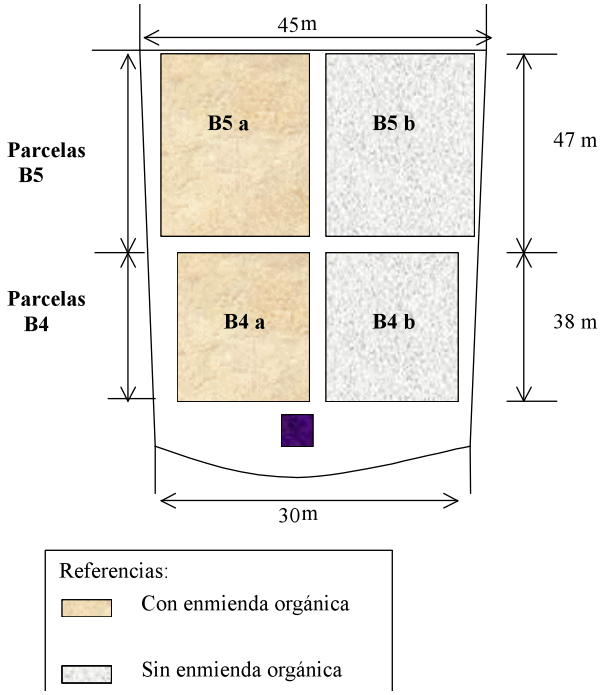
Materiales y métodos

Técnicas analíticas

- Nitrógeno Edáfico, según Método modificado para suelos basado en Mét. Normalizados para el análisis de aguas potables y residuales 4500-Norg B Mét Macro-kjeldahl.
- Fósforo Asimilable: Método de Fósforo absorbido Bray-P1 o EPA M.365.1
- pH, según normas EPA 9045C o ISO 10390.
- Conductividad Eléctrica Específica a 25ºC, según norma EPA SW 120.1
- Capacidad de Intercambio Catiónico: EPA SW 9080 y 9081
- Humedad, según norma ASTM 2216-71
- Textura, según norma IRAM 10509:1982
- Peso específico, densidad aparente o Bulk Density. Guía para la Evaluación de la Calidad y Salud del Suelo del Departamento de Agricultura de Estados Unidos (USDA 1999).
- Análisis microbiológico: -Recuento de microorganismos aerobios degradadores de hidrocarburos, Methods of soil analysis-Part2-Chemical and Microbiological Properties. Second Edition. American Society of Agronomy, Inc.1982.
- Metales pesados: EPA SW 846, Analitical Methods: Serie 7000 Digestión Methods EPA 1310 A y EPA 7470 A;
- Hidrocarburos totales de petróleo: Extracción EPA 3550/ Análisis EPA 418.1
- Aceite y materia grasa: Extracción EPA 3550/ Análisis EPA 413.2
- Caracterización cromatográfica del hidrocarburo: EPA 8015
- Hidrocarburos aromáticos policíclicos: EPA 8310
- Caracterización cromatográfica discriminada por fracciones: TPHCWG

Desarrollo experimental

Se trabajó un volumen de suelo empetrolado de 1000 m3, previamente homogeneizado y se distribuyó en cuatro parcelas de 0.30 m de espesor cada una; dos con agregado de enmienda lignocelulósica y dos parcelas blanco; según el esquema experimental de la figura.



Se incorporaron 300 Kg de corteza en la parcela B4 y 200 Kg en la B5. Se repitió la misma pauta de agregado de enmienda orgánica 10 meses después. Se inició el proceso biológico por técnica de landfarming con el agregado de enmienda orgánica constituida por corteza de pino Paraná, Urea y DAP (Fosfato diamónico), necesarios para cumplir con la relación C:N:P establecida (100:10:0,1) en las parcelas B4A y B5A. Las parcelas con la denominación B (B4B y B5B) se destinaron como parcelas testigo.

Caracterización del suelo

Parámetro	Parcela B4	Parcela B5
Fósforo (ppm)	1	1
Nitrógeno (ppm)	591	841
Vol. de Sedimentación [cm3%g]	112 c/Disp	112 c/Disp
Calificación Textural	Franco Limoso	Franco Limoso
CEes [µS/cm]	36400	33200
CEP [µS/cm]	68800	62600
Sales probables [me/L]	564	513
Humedad de Saturación [g%g]	23,6	21,1
pH pasta	7,0	6,6
Cloruros [me/L]	468	427
Carbonatos [me/L]	0,0	0,0
Bicarbonatos [me/L]	7,9	5,6
Sulfatos [me/L]	30,1	65,2
Calcio + Magnesio [me/L]	108	114
Calcio [me/L]	70,4	61,4
Magnesio [me/L]	37,8	52,2
Sodio [me/L]	398	384
RAS	54,1	51,0
Microorganismos (u.f.c.)	7E+05	1E+06

Caracterización de contaminantes

Metal	B4 (mg/ kg)	B5 (mg/ kg)	Límite de detección (mg/ kg)	Ley Nº 24051 (mg/ kg)
Arsénico	No detectado	No detectado	0.11	1.00
Bario	0.6	0.6	-	100.00
Cadmio	No detectado	No detectado	0,03	0.50
Cinc	2.2	3.6	-	5.00
Cobre	No detectado	No detectado	0,04	1.00
Cromo	No detectado	No detectado	0,04	5.00
Mercurio	No detectado	No detectado	0,001	0.10
Níquel	No detectado	No detectado	0,05	1.34
Plata	No detectado	No detectado	0,02	5.00
Plomo	No detectado	No detectado	0,10	1.00

Determinación de hidrocarburos totales de petróleo.

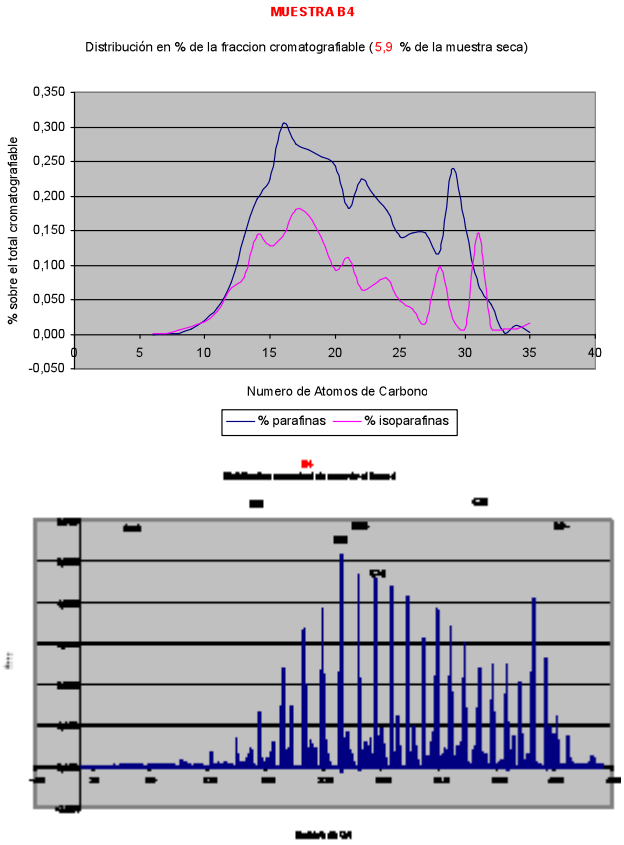
Parcela B4	Parcela B5
Hc. Totales (g/kg)	Hc. Totales (g/kg)
93.8	116.1

Compuestos Orgánicos totales por calcinación (T 500ºC).

	Parcela B4	Parcela B5
Materia Orgánica Compuestos calcinables a 500°C (%)	13.7	17.5
Derivados del Petróleo (%)	9.5	10.5
RO Residuo Compuestos fijos a 320°C (%)	3.6	7.9
Carbón y otros compuestos calcinables orgánicos (%)	4.3	4.9
Compuestos calcinables a 800°C (%)	2.5	2.9

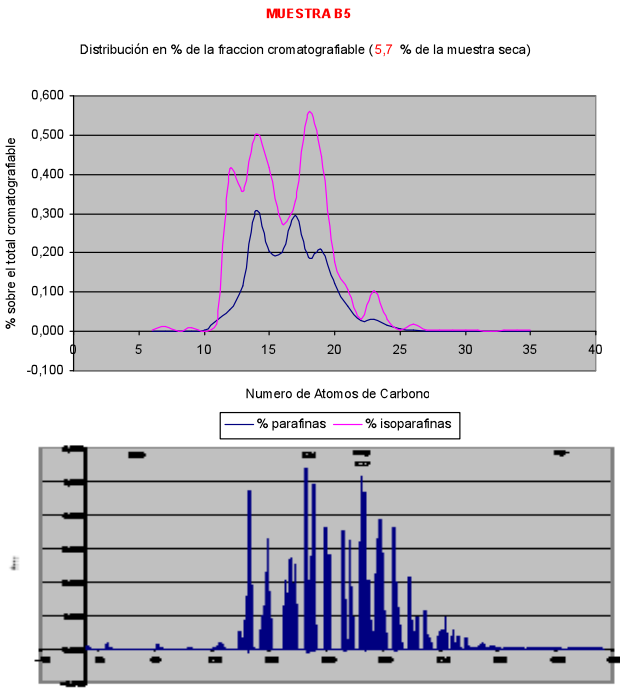
Caracterizaciones cromatográficas

Parcela B4



La máxima concentración de los compuestos cromatografiables corresponde a los hidrocarburos lineales de C16 y al C19.

Parcela B5



La máxima concentración de los compuestos cromatografiables corresponde a los compuestos hidrocarburos lineales C14 al C17.

Compuestos aromáticos volátiles

Por esta cromatografía se determino la concentración de hidrocarburos menores a C10. Los valores que se dan a continuación están expresados sobre el suelo seco. BTEX se determinaron en forma individual.

	Parcela B4 (ppm)	Parcela B5 (ppm)	Límite de Detección (ppm)	Lím. de cuantificación (ppm)
BENCENO	No detectado.	No detectado.	0,01	-
TOLUENO	< 0,1	< 0,1	0,01	0,1
ETILBENCENO	< 0,1	< 0,1	0,01	0,1
XILENOS	0,4	1,1	-	-
PROPIL BENCENO	0,1	0,1	-	-
METIL ETIL BENCENOS	0,2	0,1	-	-
TRIMETIL BENCENOS	0,5	2,6	-	-

Hidrocarburos Aromáticos Polinucleares.

PARÁMETRO	B4- B5 mg/Kg	Límite de detección mg/Kg	Ley Nº 24051 Suelo Industrial (mg/kg)
Naftaleno	0.2	0.1	50.0
Acenaftileno	3.0	-	N R
Acenaftaleno	0.3	-	N R
Fluoreno	0.8	-	N R
Fenantreno	0.3	-	N R
Antraceno	< 0.1	0.1	N R
Fluoranteno	0.4	-	N R
Pireno	0.9	-	100
Benzo(a) antraceno	1.4	-	10
Criceno	4.0	-	N R
Benzo(b) fluoranteno	< 0.1	0.1	10
Benzo(k) fluoranteno	<0.1	0.1	10
Benzo (a) pireno	0.6	-	10
Dibenzo(a,h) antraceno	<0.1	0.1	10
Benzo(g,h,i) perileno	<0.1	0.1	N R
Indeno(1,2,3 –cd) pireno	<0.1	0.1	10

Hidrocarburos Totales discriminados por fracciones

Parámetros	Unidad	Parcela B4	Parcela B5
Fracción Alifática			
>C6 a C8	mg/Kg	<50	<50
>C8 a C10	mg/Kg	<50	<50
>C10 a C12	mg/Kg	229	294
>C12 a C16	mg/Kg	3433	3690
>C16 a 2110	mg/Kg	8980	9208
>C21 a C35	mg/Kg	13680	13800
Fracción Aromática			
>C5 a C7	mg/Kg	<50	<50
>C7 a C8	mg/Kg	<50	<50
>C8 a 010	mg/Kg	<50	<50
>C10 a C12	mg/Kg	<50	<50
>C12 a C16	mg/Kg	208	311
>C16 a C21	mg/Kg	512	567
>C21 a C35	mg/Kg	826	880

Valores límites para Concentración de Saturación de Fracciones de Hidrocarburos en suelos. Basado en el método del TPHCWG

	SCTL (mg/kg)		
Fracciones de TPH	**Residencial**	**Industrial**	**Lixiviabilidad #**
Hidrocarburos Alifáticos:			
nC5 – nC6	6200	33000	470
> nC6 a nC8	8200	46000	1300
> nC8 a nC10	850	4800	7000
> nC10 a nC12	1700	10000	51000
> nC12 a nC16	2900	21000	*
> nC16 a nC35	42000	280000	*
Hidrocarburos Aromáticos:			
nC5 - nC7	340	1800	34
>nC7 - nC8	490	3700	59
> nC8 a nC10	460	2700	340
> nC10 a nC12	900	5900	520
> nC12 a nC16	1500	12000	1000
> nC16 a nC21	1300	11000	3200
> nC21 a nC35	2300	40000	25000

** no representa riesgo para la salud en este escenario de exposición.*

 # basado en el criterio para aguas subterráneas de 5000 µg/L.

Hidrocarburos Totales del Petróleo - Aceites y Grasas

Parámetros	Unidad	Parcela B4	Parcela B5
Aceite y Materia Grasa	mg/kg	75800	78900
Hidrocarburos Totales	mg/kg	43800	55700
Humedad	% p/p	3.8	3.9

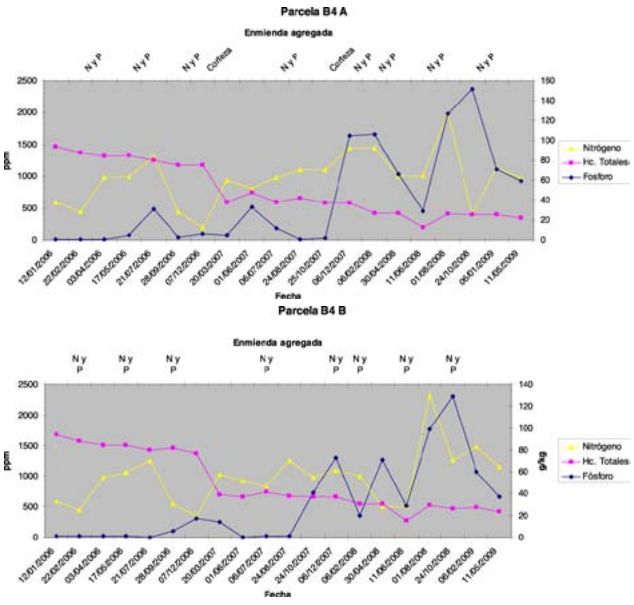
Caracterización de hidrocarburos sobre corteza de pino Paraná

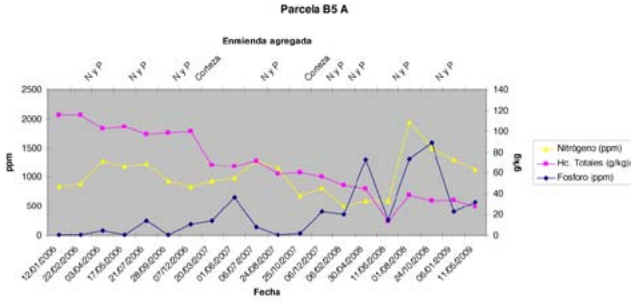
Extracción Método	Determinación método	Unidad	Hidrocarburos
EPA 9071 B	EPA 1664 A	mg/kg	1030
EPA 3550 B	EPA 418.1	mg/kg	1700

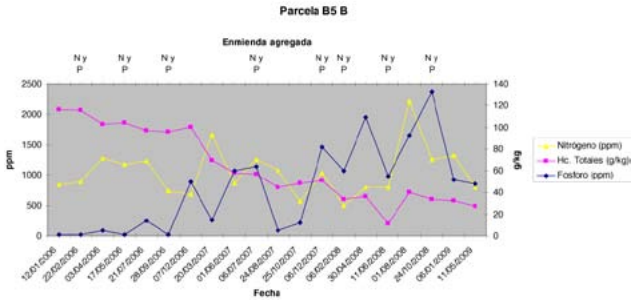
El aporte del orden del 0.1% de hidrocarburos totales resulta despreciable si tomamos en cuenta el contenido de Hidrocarburos del suelo en tratamiento y la relación de volumen considerada.

RESULTADOS

En las siguientes gráficas se puede observar la evolución del proceso biológico teniendo en cuenta como parámetros de medición las concentraciones de nutrientes Nitrógeno y Fósforo la concentración de Hidrocarburos con las respectivas incorporaciones de enmiendas tanto de fertilizantes como de cortezas de pino en las parcelas B4 A, B4 B, B5 A y B5 B.







Otros parámetros de control

Hidrocarburos totales Método TNRCC 1005 (Composición GRO –DRO-RO)

09/2007	Parámetros	Unidad	B4 a	B4 b	B5 a	B5 b
	Fracción Alifática					
GRO	C6	mg/Kg	ND	ND	ND	ND
	C6 a C8	mg/Kg	ND	ND	ND	ND
	C8 a C10	mg/Kg	167	202	225	229
	C10 a C12	mg/Kg	1165	556	1130	739
DRO	C12 a C16	mg/Kg	2585	1714	1373	1373
	C16 a C21	mg/Kg	3948	3117	5215	3802
RO	C21 a C35	mg/Kg	11684	6146	9203	8963
9/2007	**Fracción Aromática**					
GRO	C6	mg/Kg	ND	ND	ND	ND
	C6 a C8	mg/Kg	ND	ND	ND	ND
	C8 a C10	mg/Kg	ND	ND	ND	ND
	C10 a C12	mg/Kg	ND	ND	ND	ND
DRO	C12 a C16	mg/Kg	150	167	176	168
	C16 a C21	mg/Kg	50	56	64	54
RO	C21 a C35	mg/Kg	15	13	120	29

12/2007	Parámetros	Unidad	B4 a	B4 b	B5 a	B5 b
	Fracción Alifática					
GRO	C6	mg/Kg	ND	ND	ND	ND
	C6 a C8	mg/Kg	ND	ND	ND	ND
	C8 a C10	mg/Kg	6	<5	6	<5
	C10 a C12	mg/Kg	39	35.8	45	41
DRO	C12 a C16	mg/Kg	1994	2030.8	1879	1859
	C16 a C21	mg/Kg	3094	3134.7	3135	3037
RO	C21 a C35	mg/Kg	4879	4380.8	13894	3855
12/2007	**Fracción Aromática**					
GRO	C6	mg/Kg	ND	ND	ND	ND
	C6 a C8	mg/Kg	ND	ND	ND	ND
	C8 a C10	mg/Kg	ND	ND	ND	ND
	C10 a C12	mg/Kg	ND	ND	ND	ND
DRO	C12 a C16	mg/Kg	ND	<5	<5	<5
	C16 a C21	mg/Kg	<5	<5	<5	<5
RO	C21 a C35	mg/Kg	<5	<5	<5	<5

05/2009	Parámetros	Unidad	B4 a	B4 b	B5 a	B5 b
	Fracción Alifática					
GRO	C6	mg/Kg	ND	ND	ND	ND
	C6 a C8	mg/Kg	ND	ND	ND	ND
	C8 a C10	mg/Kg	ND	ND	ND	ND
	C10 a C12	mg/Kg	27	18	21	22
DRO	C12 a C16	mg/Kg	253	319	303	344
	C16 a C21	mg/Kg	1830	1733	2142	1926
RO	C21 a C35	mg/Kg	3869	3972	4089	4280
	Fracción Aromática					
GRO	C6	mg/Kg	ND	ND	ND	ND
	C6 a C8	mg/Kg	ND	ND	ND	ND
	C8 a C10	mg/Kg	ND	ND	ND	ND
	C10 a C12	mg/Kg	ND	ND	ND	ND
DRO	C12 a C16	mg/Kg	ND	ND	ND	ND
	C16 a C21	mg/Kg	ND	ND	ND	ND
RO	C21 a C35	mg/Kg	ND	ND	ND	ND

Determinación de Aceites y Materia Grasa – Hidrocarburos Totales

02/2007	Unidad	B4A	B4B	B5A	B5B
Aceite y Materia Grasa	mg/kg	70200	75800	78900	75100
Hidrocarburos Totales	mg/kg	44900	43800	55700	43400
Humedad	% p/p	3.2	3.8	3.9	3.0

09/2007	Unidad	B4A	B4B	B5A	B5B
Aceite y Materia Grasa	mg/kg	41150	44400	50300	57400
Hidrocarburos Totales	mg/kg	34700	35100	42700	47100
Humedad	% p/p	5.8	4.3	4.6	4.5

02/2008	Unidad	B4A	B4B	B5A	B5B
Aceite y Materia Grasa	mg/kg	26015	33960	39700	44100
Hidrocarburos Totales	mg/kg	18460	24410	30980	32250
Humedad	% p/p	10.1	11.9	8.1	9.4

Método TPHCWG

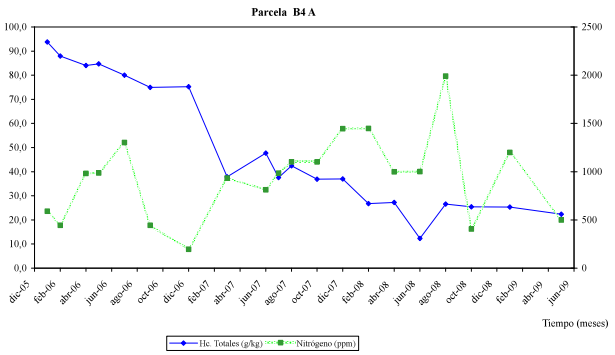
Inicial

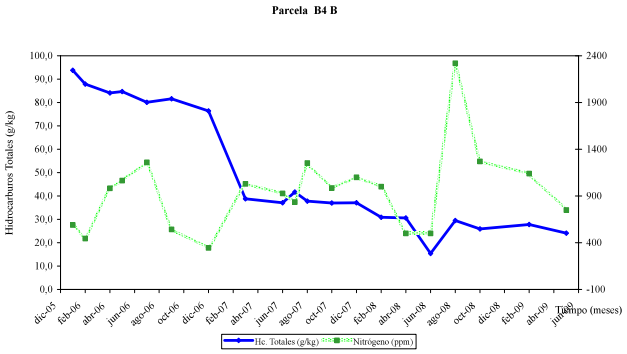
Parámetros	Unidad	Parcela B4	Parcela B5
Fracción Alifática			
>C6 a C8	mg/Kg	<50	<50
>C8 a C10	mg/Kg	<50	<50
>C10 a C12	mg/Kg	229	294
>C12 a C16	mg/Kg	3433	3690
>C16 a 2110	mg/Kg	8980	9208
>C21 a C35	mg/Kg	13680	13800
Fracción Aromática			
>C5 a C7	mg/Kg	<50	<50
>C7 a C8	mg/Kg	<50	<50
>C8 a 010	mg/Kg	<50	<50
>C10 a C12	mg/Kg	<50	<50
>C12 a C16	mg/Kg	208	311
>C16 a C21	mg/Kg	512	567
>C21 a C35	mg/Kg	826	880

29/02/08

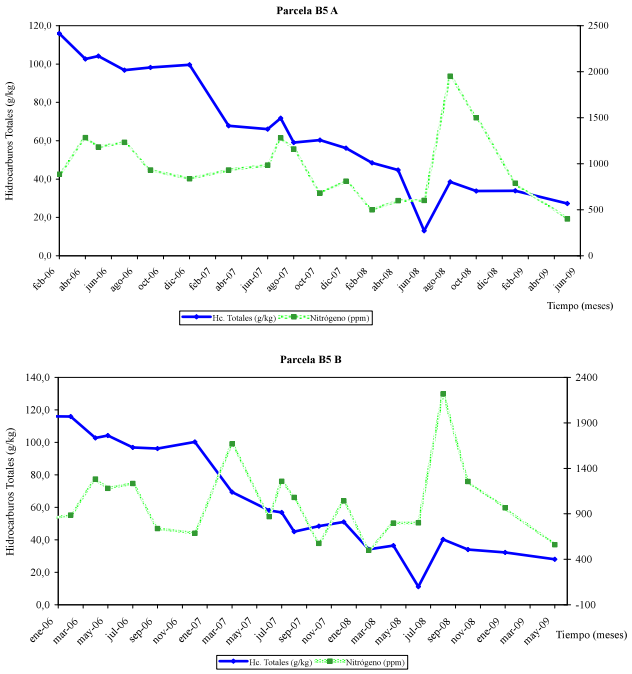
Parámetros	Unidad	B4 a	B4 b	B5 a	B5 b
Fracción Alifática					
>C6 a C8	mg/Kg	<50	<50	<50	<50
>C8 a C10	mg/Kg	<50	<50	<50	<50
>C10 a C12	mg/Kg	<50	<50	<50	<50
>C12 a C16	mg/Kg	162	294	290	420
>C16 a 2110	mg/Kg	598	629	2120	1470
>C21 a C35	mg/Kg	4450	7850	14680	10570

Parámetros	Unidad	B4 a	B4 b	B5 a	B5 b
Fracción Aromática					
>C5 a C7	mg/Kg	<50	<50	<50	<50
>C7 a C8	mg/Kg	<50	<50	<50	<50
>C8 a 010	mg/Kg	<50	<50	<50	<50
>C10 a C12	mg/Kg	<50	<50	<50	<50
>C12 a C16	mg/Kg	244	285	520	345
>C16 a C21	mg/Kg	730	990	1070	1012
>C21 a C35	mg/Kg	9640	10990	8140	12930





En la determinación de Hidrocarburos Totales para el control de proceso se observa que entre la parcela B4A y su testigo (B4B) hay una diferencia de porcentajes de degradación de hidrocarburos del 3.5 %.



Se observa que entre la parcela B5A y su testigo (B5B) hay una diferencia de porcentajes de degradación de hidrocarburos del 0.7 %

De los resultados obtenidos se puede observar que la determinación de Hidrocarburos Totales del Petróleo mediante le método EPA 418.1 modificado muestra la evolución del proceso pero no da información suficiente para comparar la implicancia del agregado de la corteza en la evolución de los hidrocarburos.

Variación de la Composición de hidrocarburos (GRO –DRO-RO)

09/2007	Parámetros	Unidad	B4 a	B4 b	B5 a	B5 b
	Fracción Alifática					
GRO	C6 a C12	mg/Kg	1332	758	1355	968
DRO	C12 a C21	mg/Kg	6533	4831	6588	5575
RO	C21 a C35	mg/Kg	11684	6146	9203	8969
Fracción	**Aromática**					
GRO	C6 a C12	mg/Kg	ND	ND	ND	ND
DRO	C12 a C21	mg/Kg	200	223	240	222
RO	C21 a C35	mg/Kg	15	13	120	29

05/2009	Parámetros	Unidad	B4 a	B4 b	B5 a	B5 b
	Fracción Alifática					
GRO	C6 a C12	mg/Kg	27	18	21	22
DRO	C12 a C21	mg/Kg	2083	2052	2445	2270
RO	C21 a C35	mg/Kg	3869	3972	4089	4280
Fracción	**Aromática**					
GRO	C6 a C12	mg/Kg	ND	ND	ND	ND
DRO	C12 a C21	mg/Kg	ND	ND	ND	ND
RO	C21 a C35	mg/Kg	ND	ND	ND	ND

Si comparamos la determinación de las fracciones de hidrocarburos iniciales con las obtenidas al finalizar el proceso se observan los siguientes porcentajes de degradación:

09/2007 a 05/2009	Parámetros	B4 a %	B4 b %	B5 a %	B5 b %
	Fracción Alifática				
GRO	C6 a C12	98	97.6	98.4	97.7
DRO	C12 a C21	68	57.5	62.8	59
RO	C21 a C35	67	35.4	55.6	52.3
Fracción	**Fracción Aromática**				
GRO	C6 a C12	100	100	100	100
DRO	C12 a C21	100	100	100	100
RO	C21 a C35	100	100	100	100

Comparando los resultados del proceso degradativo respecto de las fracciones que constituyen el contamínate tratado se observa principalmente que:

Las fracciones aromáticas fueron mineralizadas o transformadas en su totalidad.

Los Hidrocarburos alifáticos GRO (Rango gasolinas) fueron degradados un 98 %, observándose un pequeña diferencia con las parcelas testigo.

Los Hidrocarburos alifáticos DRO (Rango diesel) fueron degradados en porcentajes superiores al 57%. En la degradación de estas fracciones se aprecian diferencias entre un 3.3% y 10.5% respecto de las parcelas testigos.
Si bien los compuesto más pesados RO (Residuos Orgánicos) son los menos móviles y más difícilmente degradables, se observa que las parcelas que contienen corteza de pino Paraná han alcanzado porcentajes interesantes de biodegradación respecto de las parcelas testigos.

Variación de Hidrocarburos Totales (EPA 418.1) - Grasa y Aceites (EPA 413.2)

Se considera la evolución de aceites y grasas y de Hidrocarburos Totales relacionando un período de un año, que va desde el agregado de la primera enmienda de corteza de pino Paraná hasta cuatro meses posteriores al agregado de la segunda enmienda.

02/2007	Unidad	B4A	B4B	B5A	B5B
Aceite y M. Grasa	mg/kg	70200	75800	78900	75100
TPH	mg/kg	44900	43800	55700	43400

02/2008	Unidad	B4A	B4B	B5A	B5B
Aceite y M. Grasa	mg/kg	26015	33960	39700	44100
TPH	mg/kg	18460	24410	30980	32250

El Porcentaje de degradación de aceites y grasa y de Hidrocarburos totales resulta:

02/07 a 02/08	Unidad	B4A	B4B	B5A	B5B
Aceite y M. Grasa	%	62.9	55.2	49.7	41.3
TPH	%	59.8	44.2	44.3	25.7

De la evolución de la materias grasa y de aceites presentes en el suelo durante este período de tiempo se observa una diferencia del 7.7% de degradación entre la parcela B4 A y su testigo (B4 B). Entre la parcela B5 A y su testigo (B5 B) la diferencia en el porcentaje de degradación es de 8.4 %
De la evolución de los Hidrocarburos Totales se observa que la parcela B4 A presenta una diferencia en el porcentaje de degradación de hidrocarburos del 15.6% respecto de su testigo (B4 B). Entre la parcela B5 A y su testigo la diferencia en el porcentaje de degradación es de 18.6 %.

CONCLUSIONES

De los resultados obtenidos se puede observar que la determinación de Hidrocarburos Totales del Petróleo mediante el método EPA 418.1 modificado muestra la evolución del proceso pero no nos da información suficiente para comparar la implicancia del agregado de la corteza en la evolución de los hidrocarburos Totales.

Entre la parcela B4A y su testigo B4B hay una diferencia en porcentajes de degradación de hidrocarburos del 3.5 % y que entre la parcela B5A y su testigo B5B la diferencia de porcentajes es del 0.7 %.

De la comparación de los resultados del proceso degradativo respecto de las fracciones que constituyen el contaminante tratado se concluye:

1. Las fracciones aromáticas fueron mineralizadas o transformadas en su totalidad.
2. Los Hidrocarburos alifáticos GRO (Rango gasolinas) fueron degradados un 98 %, observándose un pequeña diferencia con las parcelas testigo.
3. Los Hidrocarburos alifáticos DRO (Rango diesel) fueron degradados en porcentajes superiores al 57%. En la degradación de estas fracciones se aprecian diferencias entre un 3.3% y 10.5% respecto de las parcelas testigos.
4. Los compuesto más pesados RO (Residuos Orgánicos) muestran que las parcelas que contienen corteza de pino Paraná han alcanzado porcentajes de hasta un 31 % de biodegradación respecto de las parcelas testigos.

De la evolución de la materia grasa y de aceites presentes en el suelo durante el período comparado se observa una diferencia del 7.7% de degradación entre la parcela B4 A y su testigo y de 8.4 % entre la parcela B5 A y su testigo.

De la evolución de los Hidrocarburos Totales EPA 418.1 se observa que la parcela B4 A presenta una diferencia en el porcentaje de degradación de hidrocarburos del 15.6% respecto de su testigo (B4 B). Entre la parcela B5 A y su testigo la diferencia en el porcentaje de degradación es de 18.6 %.

BIBLIOGRAFÍA

1. Total Petroleum Hydrocarbon Criteria Working Croup Series (TPHCWG). 1998-1999 Vol. 1
2. Rivera, Rafael et al. Regulatory proposal that allows more flexible alternatives to the disposition of petroleum exploration and production drill cuttings in Mexico. The 7th International Petroleum Environmental Conference. Albuquerque, NM. November 7 to 10, 2000.
3. Standard Guide for Risk-Based Corrective Action Applied at Petroleum Release Sites, ASTM E 1739 –95. 1995
4. Brainard, J. and B.D. Beck. A review of bioavailability of petroleum constituents. Submitted to Association of the Environmental Health of Soils. Presentation at 1992 West Coast Soils and Groundwater Conference. 199
5. Ercoli, Eduardo et al. Clean up practical limits on full scale bioremediation processes for hydrocarbon contaminated soils. The Twentieth International Conference on Solid Waste Technology and Management. Department of Civil Engineering, Widener University. A

COMPORTAMIENTO DE LOS NIVELES FREATICOS EN EL VALLE DE ZONDA, EN UN LAPSO DE CUATRO DÉCADAS, SU VINCULACIÓN CON EL DESARROLLO AGRÍCOLA Y TURÍSTICO, PROVINCIA DE SAN JUAN, ARGENTINA

Lucía Amelia Gamboa (1)
Laura Ocampo (1)
(1) Universidad Nacional de San Juan-Facultad Ciencias Exactas, Físicas y Naturales- INGEO- Gabinete de Geología Ambiental.

Resumen
El valle de Zonda es una depresión intraprecordillerana norte-sur, ubicada 20 km al oeste de la ciudad de San Juan. Considerado un oasis atractivo para el desarrollo agrícola y turístico, su relleno es producto del abanico aluvial del río San Juan y constituye un reservorio de aguas subterráneas con características de acuífero libre con alta transmisividad, monitoreado desde 1966 por el CRAS. Sus límites oriental y occidental son tectónicos, en tanto que hacia el norte lo limita el río San Juan y hacia el sur es difuso.

El objetivo del trabajo es determinar la zonificación de áreas de susceptibilidad a la variación de los niveles freáticos y su potencial uso turístico.

La posición de la sierra Chica de Zonda, transversal al flujo, genera una zona de surgencia que da origen al humedal del "Area Natural Protegida" Parque Provincial Presidente Sarmiento, cuya zona de influencia varía dependiendo de la disponibilidad de agua para recarga del acuífero.

Se analizó el comportamiento del acuífero en relación a los caudales del río San Juan y la influencia de la construcción del dique. En las últimas cuatro décadas se registraron cuatro períodos de sequía importantes (1967-1972; 1975-1976; 1989-1990; 1995-1997), el más pronunciado fue entre 1967-1972, ello generó la perforación de 76 pozos (Batería Oficial de Pozos de Zonda) entre 1968-1972 para proveer de agua al valle de Tulum, aguas abajo, impulsó la construcción del dique de Ullum. Con posterioridad al llenado a cota máxima (768 m.s.n.m.) del dique en 1981, se observó una inversión en el sentido del drenaje del agua subterránea y el ascenso de la freática inutilizó varias de las perforaciones de la batería oficial de pozos, amplió el área del humedal y generó una serie de obras adicionales para mitigar el impacto la dinámica del acuífero en el desarrollo agrícola y turístico regional.

Introducción
El valle de Zonda es un oasis precordillerano, que en la actualidad tiene una superficie cultivada del 80%, es el segundo reservorio natural de agua de la provincia y es también uno de los lugares elegidos por el turismo local de fin de semana, dada su cercanía a la ciudad de San Juan.

En los últimos años su superficie cultivada prácticamente se duplicó, la población permanente tuvo un incremento de 39% entre los censos de 1991 y 2001, manteniéndose esa proyección, y la actividad turística aumentó debido a la habilitación de áreas del perilago del dique Presa de Ullum. Todos estos factores conjugados podrían generar un factor de contaminación potencial importante.

Ubicación Geográfica
El Departamento de Zonda se ubica al oeste de la ciudad de San Juan a una distancia de 20 Km., al mismo se accede a través de la ruta nacional Nº20.

El Valle de Zonda pertenece a una serie de depresiones intraprecordilleranas alineadas de rumbo general norte-sur, entre la Precordillera Central y la Oriental (Ortiz y Zambrano,1981). De forma trapezoidal con base mayor de aproximadamente 9.5 Km hacia el norte, ocupa una superficie aproximada de 48 km2, siendo las coordenadas de la villa cabecera departamental 31º32'53.45" S y 68º43'47.60"O , datos extraídos de Google earth.

Este valle es la sección austral de la depresión de alineación meridiana, denominado valle de Ullum-Zonda, la traza del río San Juan lo separa políticamente de su similar en el Departamento de Ullum. Está limitado al oeste por la sierra Alta de Zonda, también llamada sierra Negra de Zonda y su continuación hacia el norte, el Cerro Blanco de Zonda; al este por la sierra Chica de Zonda y la sierra de Marquesado ubicada en su parte septentrional. El límite sur no está representado por elemento físico, por lo que el CRAS lo define

como difuso, continuándose con el valle del Río Seco de la Ciénaga.

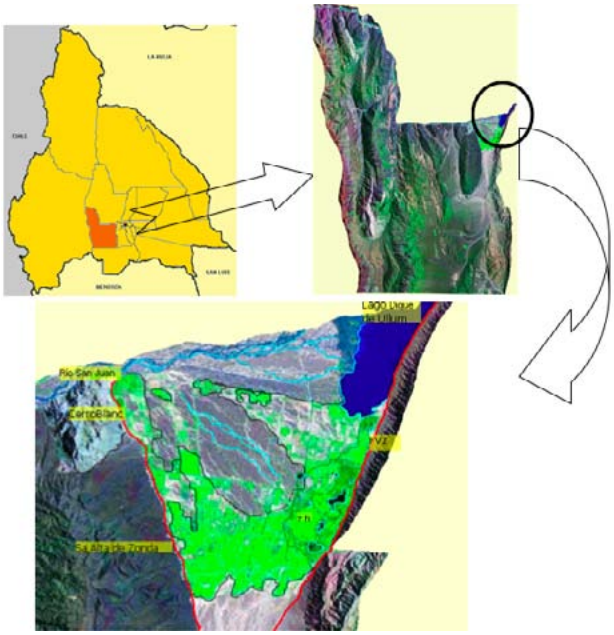


Fig.1 Croquis De Ubicación de la zona de estudio.

Marco Geológico (Fig.2)

Limitada al oeste por una falla inversa, aparentemente con poca actividad, cuyo plano inclina al oeste, que eleva la sierra Alta de Zonda o sierra Negra de Zonda, litológicamente compuesta por areniscas verde oscuras de edad devónica, siendo el sector norte representado por andesitas y dacitas del Terciario del Cerro Blanco de Zonda; adosado a ella en el flanco oriental sedimentos compuestos por arenas muy finas, limo y arcillas de color rosado con leve metamorfismo cuya edad es terciaria, y que se encuentran topográficamente más altos que el cuaternario contenedor del acuífero. Al este la sierra Chica de Zonda, con la sierra de Marquesado en su sector boreal eleva terrenos carbonáticos de edad cambro-ordovícica a través de una falla inversa cuyo plano inclina al este, siendo un borde tectónicamente activo.

Estas dos sierras enmarcan al primer abanico aluvial del río San Juan, limitándolo en su desarrollo lineal y confiriéndole un gran desarrollo vertical. En sí forma un graben ya que sus límites son tectónicos.

Por geoeléctrica se ha detectado un espesor de sedimentos cuaternarios superior a los mil metros, estableciéndose como basamento hidrológico sedimentitas de edad terciaria.

La característica de gran desarrollo vertical de sedimentos de granulometría gruesa, lo transformaron en un reservorio natural de agua de buena calidad. Victoria (1982 define al acuífero como libre horizontal con coeficiente de transmisividad de 5000 m2/día y coeficiente de almacenamiento de 15%. En este acuífero se reconoce una recarga que puede ser de tres orígenes: a través del subálveo del río, por infiltración de excedentes de riego (cuando la recarga natural es escasa) y desde el Embalse Presa de Ullum; mientras que la descarga se efectúa en forma natural a través del Estero de Zonda, a través de drenes y bombeo de perforaciones.

Estratigrafia

La estratigrafía de la zona de estudio está formada por terrenos del Paleozoico inferior en las sierras orientales y Paleozoico medio y Terciario subvolcánico hacia el oeste; recostado sobre las flanco de las sierras circundantes hacia el valle reobservan afloramientos relícticos de terciario en posiciones elevadas con respecto al relleno cuaternario aluvial y lacustre en la zona de la depresión que constituye la subcuenca de agua subterránea de Zonda.

Paleozoico inferior

La sierra de Marquesado está constituida por rocas esencialmente carbonáticas con litologías que van de lutitas a margas e inclusive dolomías de edad cámbrica inferior a superior, representadas por la Formación La Laja (Borrello,1962) lutitas, cuarcitas y margas en el Cámbrico inferior y calizas oolíticas del Cámbrico medio, visible desde el flanco occidental de la sierra, y la Formación Zonda (Bordonaro,1990) con predominio de dolomías sobre su flanco oriental. En tanto que en la sierra Chica de Zonda aflora hacia el oeste la secuencia carbonática de edad cámbrica y al este calizad ordovícicas de la Formación San Juan.

Paleozoico medio

La sierra Alta de Zonda está constituida por terrenos de edad devónica representados por la Formación Punta Negra (Bracaccini,1950) y constituido litológicamente por subgrauvacas, lutitas, areniscas de coloración verde oscuro que presentan ritmicidad relacionadas a ambiente de depositación de conos submarinos, según González Bonorino (1975).

Cenozoico

Hacia el norte de la sierra Alta de Zonda se encuentra el Cerro Blanco, constituido por andesitas y dacitas pertenecientes al Terciario, que están en contacto de leve metamorfismo con rocas sedimentarias de tonalidades rojizas oscuras asignadas al mismo período.

Apoyado en discordancia sobre el faldeo oriental de la sierra Alta de Zonda, con afloramientos dispersos, se encuentran sedimentos asignados al Terciario correspondiente a la Formación Albarracín (Leveratto,1968) constituidos por rocas que van de arcillas a conglomerados.

Area De La Cuenca

Basamento

El basamento de la cuenca sedimentaria cuaternaria, lo representa terrenos impermeables asignados al Terciario, probablemente Formación Albarracín.

El Terciario según Zambrano (1983), está compuesto por dos unidades, la inferior constituída por areniscas y arenas grises o amarillas, líticas, alternando con limonitas, limos arcillosos y arcilitas rojizas y la superior gravas mantiformes con espesor y frecuencia en aumento hacia arriba (Formación Albarracín?), pasando gradualmente a conglomerados de la Formación Mogna.

Algunos autores consideran que el basamento de toda la cuenca está constituido por calizas probablemente ordovícicas (Baldis y Chebli,1969), siendo el terciario parte del relleno de la cuenca y circunstancialmente basamento hidrológico debido a su compactación y muy baja transmisividad.

Cuaternario

Está representado por un grueso espesor de sedimentos provistos por el río San Juan, con granulometrías que van desde gravas y arenas a conglomerados con clastos de composición litológica variada, que provienen tanto de Cordillera Frontal como de Precordillera.

En el sector sur de la cuenca, los sedimentos se intercalan con los aportados por el río seco de La Ciénaga (Robles,et al 1978). En esa zona dichos autores reconocen dos grupos de sedimentos asignados al período:
1) Aluvión Antiguo y terrazado, que se presentan en una posición topográfica elevada recostado sobre la sierra Alta de Zonda, y no constituyen reservorio de aguas, compuesto por depósitos de: a) Llanura aluvial,"constituído por gravas polimícticas con clastos en general redondeados de porfiritas, grauvacas, calizas, areniscas , etc., con material intersticial comprendido entre limo y arena gruesa con incipiente pavimento del desierto" (sic), y b) Piedemonte, cuyos clastos angulosos y muy poco seleccionados indican procedencia cercana desde las sierras circundantes , siendo el techo en algunos sectores suavemente terrazado, y
2) Aluvión Moderno, Reciente y Actual, también constituído por sedimentos de: a) Llanura aluvial cuya granulometría, típica de cursos temporarios, es variable y litológicamente compuesto" por rocas volcánicas y sus tobas y grauvacas, areniscas, calizas, etc."(sic),y b) Piedemonte con sedimentos clásticos similares a los del pedimento anterior y en algunos casos retrabajados de él.

Estructura

Para Ortiz y Zambrano (1981), las alineaciones de los valles intraprecordilleranos que comienzan en Huaco, al norte, y terminan en Acequión al sur, representan el borde occidental de la Precordillera oriental, estos "se asemejan a una cadena de fosas tectónicas, especialmente en aquellos casos que están delimitados por fallas tanto al este como al oeste, producidas por esfuerzos compresionales"(sic), como es el caso del valle de Zonda, limitado en ambos costados por fallas inversas con rechazos de varios cientos de metros.

Además de las fallas longitudinales de la morfoestructura están las transversales directas como la del límite norte del valle coincidente con la megafractura de Salinas Grandes, que según Baldis y Vaca (1986) al reactivarse podrían haber dado origen al magmatismo subvolcánico de Ullum (Cerro Blanco). De acuerdo con Miranda,S. (1989) por gravimetría se constató la falla inversa de Villicum-Zonda hacia el este que tiene plano de inclinación hacia el este, y que presenta desplazamientos horizontales y verticales en toda su longitud con un rechazo promedio de 1300 m; la presencia de depresiones relacionadas a la megafracturación de Salinas Grandes, hacia el norte de la comarca y una configuración de semigraben; en cuanto al valle se detectó un espesor de 1500 m de Terciario-Cuaternario sin diferenciar. Robles et al (op cit) establecen un espesor de Cuaternario de 540 m aproximadamente y describen al valle del río seco de La Ciénaga como " una fosa tectónica marginada por importantes fallas de sobrescurrimiento, hacia el este una falla inversa buzante al este (falla de Villicum-Zonda), en tanto que hacia el oeste inclina al oeste, reactivadas posiblemente a principios del Cuaternario.

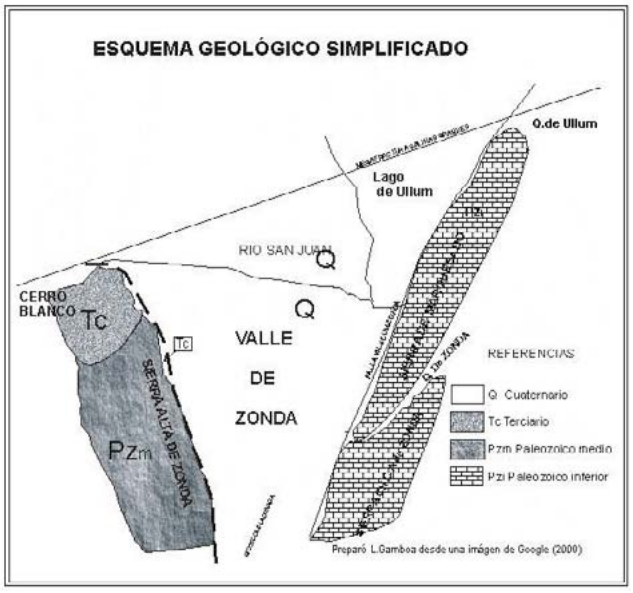


Fig.2- Esquema geológico general de la zona de estudio.

Metodología

En una primer etapa se buscó bibliografía sobre el Departamento de Zonda en bibliotecas de la Universidad Nacional de San Juan, Secretaría de Recursos Hídricos de la provincia, Instituto Nacional de Agua San Juan y buscadores de Internet.

Los datos obtenidos se reunieron, compilaron y trabajaron en forma digital.

Análisis de Datos (Fig.3 a 6)

Se analizaron los datos de caudales del río San Juan en su estación de aforo del Km 47,5 integrándolos con los mapas de isopiezas y mapas de igual profundidad elaborados por CRAS (actualmente INA regional cuyo) desde 1966 (Fig.3), en un período anterior a la puesta en funcionamiento del Dique de Ullum y con posterioridad al mismo, considerando los años de menor y de menor caudal. Se debe tener en cuenta que el río San Juan es de régimen nival y tiene sus cabeceras en la Cordillera de los Andes por lo cual se registran variaciones estacionales de sus caudales.

Los depósitos de llanura aluvial de gran porosidad y permeabilidad, han convertido el relleno cuaternario en un reservorio de aguas que en años hidrológicos abundantes almacena grandes cantidades, ya que su escurrimiento natural debido a la limitación física que le opone la sierra Chica de Zonda, se interrumpe buscando lugares de menor cota para la descarga.

Hacia finales de los sesenta y principio de los setenta se realizó una batería de setenta y seis pozos para provisión de agua al sistema de riego del valle de Tulum principalmente y para consumo de Obras Sanitarias Sociedad del Estado de la provincia, en aquel entonces OSN, durante el período de monda de canales o cuando se restringe la salida de agua desde el Dique de Ullum, en cuyo caso se capta agua desde el Estero de Zonda para su tratamiento. Analizando los mapas confeccionados por CRAS desde 1966, se observa que el nivel freático tuvo distintos comportamientos sobre la base del aporte natural y obras antrópicas. Esta particularidad genera que el nivel de la freática en algunos sectores llegue a la superficie, dando origen a la zona de humedales del denominado Parque Presidente Sarmiento, que se vio favorecido aún más por el llenado del Dique de Ullum en 1981.

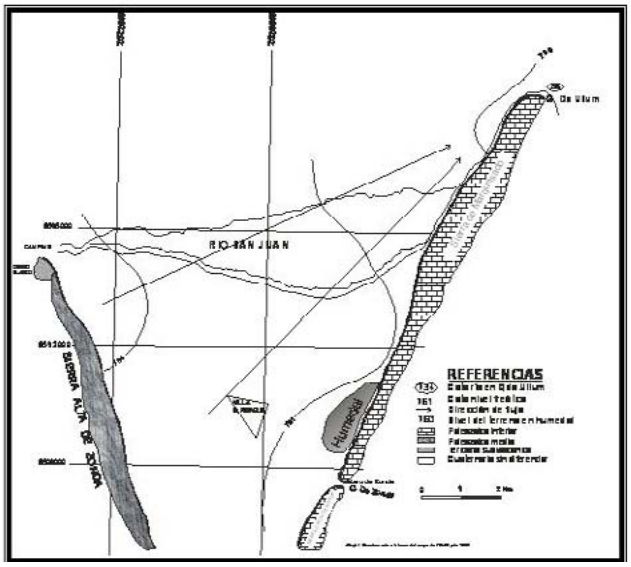
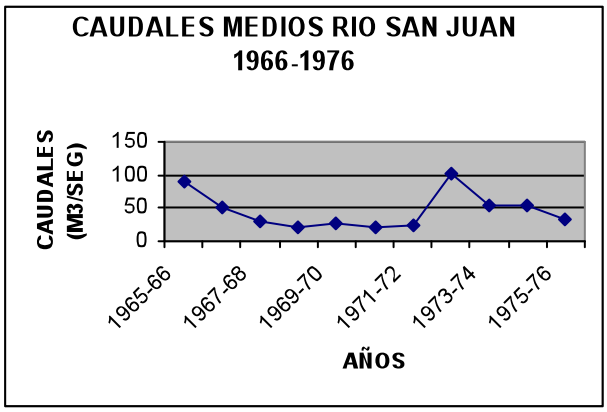


Fig. 3 –Situación del acuífero en julio de 1966.

En el período comprendido entre 1966-1976 (Fig.4), tomado como primer década, se registró la peor sequía de la región (1967-1972) como se observa en el cuadro y gráfico de caudales medios del río, esto generó la explotación del acuífero durante al menos tres años, comprobándose un descenso del nivel freático de 10 metros en la zona que generalmente está más cercana a superficie y a menudo se transforma en laguna, este período se corresponde con la etapa previa a la construcción del Dique de Ullum.



Caudal medio río San Juan m3/seg	
AÑO	ANUAL
1965-66	88,9
1966-67	49,7
1967-68	30,9
1968-69	19,9
1969-70	28,3
1970-71	21
1971-72	23,5
1972-73	101,5
1973-74	53,5
1974-75	52,9
1975-76	34,3
Fuente: SRH San Juan	

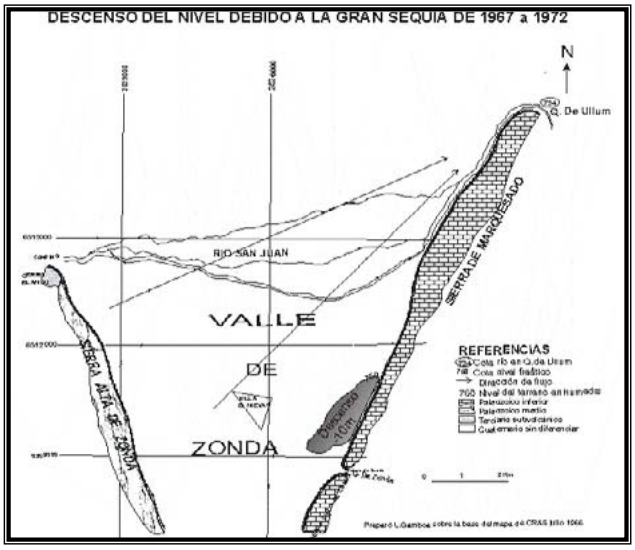
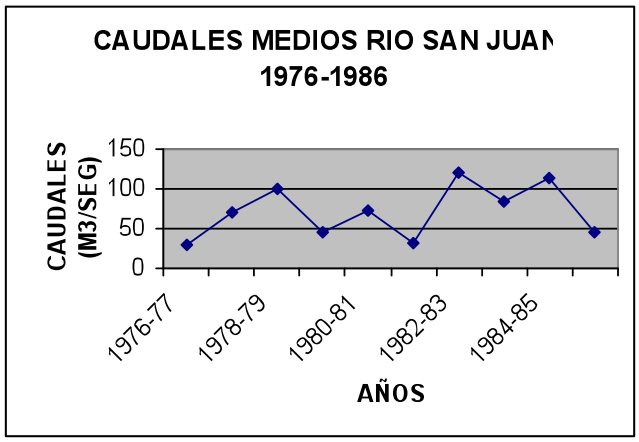


Fig. 4- Cuadro de caudales del río San Juan y comportamiento del acuífero previo llenado del Dique de Ullum.



Caudal medio río San Juan m3/seg	
AÑO	**ANUAL**
1976-77	28,9
1977-78	71,3
1978-79	101,1
1979-80	46,4
1980-81	73,5
1981-82	32,5
1982-83	120,6
1983-84	83,2
1984-85	114,6
1985-86	45,8
Fuente: SRH San Juan	

Aumento del Nivel Freático Debido al Dique de Ullum

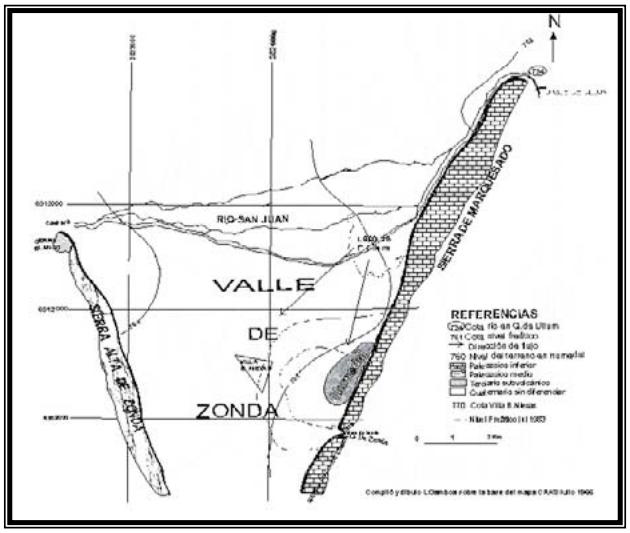
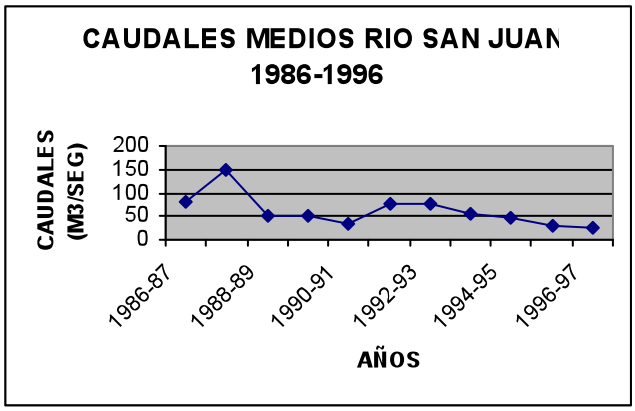
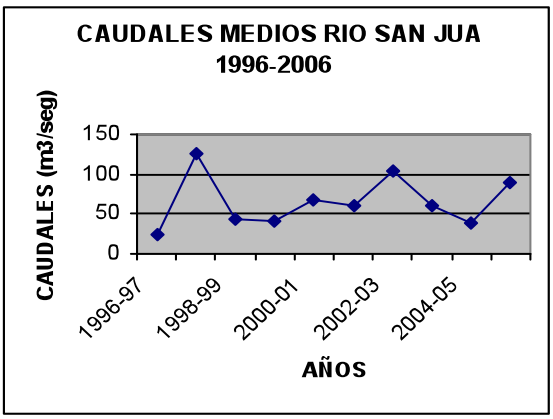


Fig. 5- Cuadro de caudales del río San Juan y comportamiento del acuífero con posterioridad al llenado del Dique de Ullum.

La misma metodología se aplicó a la década siguiente teniendo en cuenta que en el verano de 1980-1981 se completó el llenado del dique cuya cota de embalse es 768 m.s.n.m., ocho metros por encima del pelo de agua del humedal en su parte más baja. Esta situación generó una inversión del gradiente hídrico siendo la recarga provista por el embalse. Este ingreso de agua desde el embalse se reflejó de inmediato, sobre las áreas más cercanas debido a su condición de acuífero libre con alta transmisividad y por lo tanto el área del humedal se amplió, llegándose a anegar terrenos cultivados (Fig.5), motivo que generó gran cantidad de juicios contra el estado provincial por daños diversos.

En las décadas posteriores (Fig.6) hubieron períodos muy cortos de sequía que a nivel agrícola y de la población en general no se percibió ya que el agua contenida por el dique se regulaba en la distribución a través del sistema integral de riego de la provincia en los valles de Ullum-Zonda y Tulum. En la temporada de deshielo de 2008-2009, se comenzó a llenar el Dique Caracoles, construido en la zona de El Tambolar, aguas arriba de la estación de aforo, cortando el flujo del río. El humedal que en noviembre de 2008 no permitía el acceso porque era una laguna con al menos una cota de 761 m.s.n.m, en el mes de febrero se podía caminar en su lecho, lo que demuestra que al cambiar el nivel del espejo de agua del dique y quedar a menor cota que el humedal el gradiente hidráulico muestra una inversión inmediata al menos en las zonas más próximas al embalse.





Caudal medio río San Juan m3/seg	
AÑO	ANUAL
1986-87	80,8
1987-88	147,4
1988-89	52
1989-90	50,9
1990-91	32,3
1991-92	77,2
1992-93	77
1993-94	53,8
1994-95	46,5
1995-96	30,2
Fuente: SRH San Juan	

Caudal medio río San Juan m3/seg	
AÑO	ANUAL
1996-97	23,6
1997-98	124,7
1998-99	44,7
1999-00	40,8
2000-01	66,6
2001-02	60,4
2002-03	105,2
2003-04	60,3
2004-05	37,8
2005-06	90,6
2006-07	72,7
Fuente: SRH San Juan	

Fig.6-Caudales del río San Juan en las décadas de 1986 a 2006.

Relación Con La Agricultura

Los acuíferos por la circulación lenta de las aguas debido a los pequeños canalículos por los que circula (Custodio y Llamas, 2001) pueden tardar mucho tiempo en mostrar la contaminación, también muestran un notable poder depurador frente a muchos agentes contaminantes aunque tienen un límite que depende del agente que se considere. Además por su gran volumen de agua las contaminaciones extensas se manifiestan muy lentamente y las localizadas no aparecen hasta que se hayan desplazado a captaciones en explotación, por lo que cualquier intento de remediación es también lento. Esto nos lleva a la solución más rápida, tratar de limitar o suspender la fuente de contaminación. En nuestro caso los factores contaminantes son los líquidos provenientes de núcleos poblacionales sin servicios de cloacas y los provenientes de la agricultura..

En cuanto al manejo del acuífero, de acuerdo con Miranda,O. (1999),el número de pozos perforados en el Valle de Zonda en el año 1980 era de 161 en tanto que en 1994 era de 54, de los cuales 42 estaban ubicados en parcelas con derecho a riego superficial y solo 12 estaban en predios sin derecho a riego y cuyos tamaños parcelarios eran en general inferiores a 10 Ha.

El Departamento de Hidráulica en el relevamiento agrícola 2006-2007, en su informe, muestra para el departamento un aumento de la superficie total cultivada desde 1996/1997 a 2006/2007 del 91.5%.

"En años recientes, se impulsó en San Juan el desarrollo agropecuario con grandes inversiones en tecnologías de riego y cuya producción se orientaba al mercado externo. De tal manera que el beneficio impositivo permitió la entrada en la región de capitales extra regionales (y hasta transnacionales) cuya consecuencia fue la concentración de la tierra" (sic) Naveda,A (2006).

El gran salto se produjo entre 1998 y 1999 debido a los cultivos instalados por los diferimentos impositivos (permisos para instalar cultivos o industrias con pago diferido de impuestos). La superficie total cultivada para el censo agrícola 2006-2007 era de 2546,3128 ha de las cuales solo 500 ha no tienen derecho a riego superficial, por lo que extraen agua del subsuelo.

La técnica de riego más utilizada es por manto, lo que provee una gran superficie a la recarga por infiltración de excedente de riego. Teniendo en cuenta los datos del relevamiento agrícola del 2006-2007, realizado por el Departamento de Hidráulica de la provincia de San Juan podemos estimar que la zona en estudio por las características del terreno la

infiltración es considerable, el agua de riego superficial se toma inmediatamente desde la zona apical del abanico aluvial que da origen al reservorio, en el Cerro Blanco.

De los terrenos cultivables para la década del '70 que se ubicaban en la parte más baja del abanico, cercanas a la sierra Chica de Zonda, al alcanzarse la cota máxima del embalse Presa Quebrada de Ullúm en la temporada 1980-1981, muchos se inundaron o revinieron. A fin de mitigar los efectos provocados por el ascenso de la napa se realizó bombeo de la batería de pozos oficiales de Zonda y se construyeron 4 drenes a una profundidad de 2 m que descargan a un colector principal el cual corre paralelo a la sierra de Marquesado el que a su vez conecta al Estero de Zonda que abandona el valle entubado por debajo del Dique Soldano en la quebrada de Zonda. Eguaburo,C.(2007), propone la construcción de un túnel a través de la sierra de Marquesado con el propósito de drenar el humedal y a su vez generar energía, sería un posible beneficio para la agricultura y tal vez desde el punto de vista energético, pero no viable para la conservación del parque y las especies animales y vegetales que tienen allí su habitat.

La construcción del dique Caracoles y su posterior llenado, mostró la vinculación estrecha del acuífero con el caudal del río; en la actualidad se está comenzando la construcción de otro dique (Punta Negra) aguas arriba de la zona apical, este conjunto de obras hidráulicas al cabo de diez años serán las reguladoras de aportes hídricos a la cuenca. Seguramente habrán períodos de escasez como ocurrió a fines de 2008 con el llenado de Caracoles hasta alcanzar un régimen de regularidad el que dependerá de las precipitaciones níveas en Cordillera Frontal donde tiene sus nacientes la cuenca del río San Juan . Del análisis del comportamiento del acuífero y la ubicación de los núcleos poblacionales, surge la delimitación de cuatro zonas de susceptibilidad al ascenso de la freática (Fig.N°11) donde no se debería habilitar a instalaciones permanentes, salvo que se rijan por las normativas vigentes para el perilago y que sean de cumplimiento estricto a fin de preservar la calidad del reservorio.

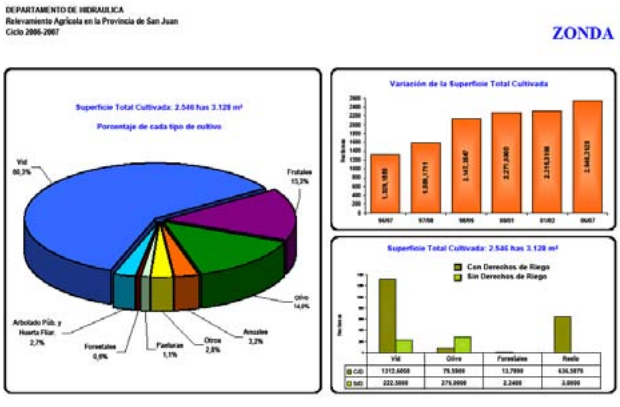
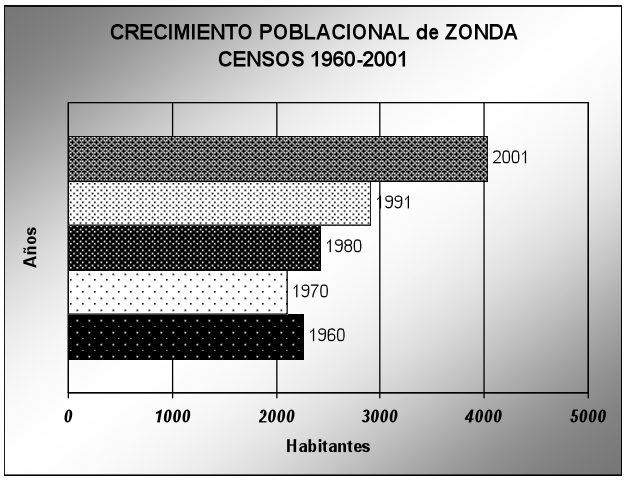


Fig.7- Tomado del informe del Departamento de Hidráulica de la provincia de San Juan, publicado en 2007.

Núcleos Poblacionales

El Departamento de Zonda tiene concentrada la población, que para el censo de 2001 según datos de INDEC era de 4038 habitantes, mostrando un crecimiento del 39% respecto de 1991, en el valle donde se ubica la Villa Basilio Nievas, su cabecera departamental, no tienen servicio de cloaca, pero el 65% de la población tiene servicio de agua potable. En la última década se ha mejorado el estilo de construcción aunque no los servicios. Hacia el perilago del dique de Ullúm se ubica un grupo de cabañas con pobladores semipermanentes, Villa Tacú, que se instaló con posterioridad al dique y cuyos propietarios deben adecuarse a la normativa sobre manejo de desechos que rige para las instalaciones en el perilago.

El ascenso de la freática llega en ocasiones a estar entre cinco y diez metros de la superficie en la zona poblada de la Villa Basilio Nievas, si se considera que los pozos negros se hacen a una profundidad de entre 5 y 7 metros, estos líquidos a su vez se incorporan al agua de subsuelo a través de la infiltración al igual que los procedentes del riego. Como se dijo anteriormente, la solución al ascenso fue la creación de drenes que aportan agua a un colector principal es evidente que el agua drenada es la capa superficial del acuífero que aún no muestra un excesivo deterioro debido a que la población no es tan grande ,pero va en aumento a razón de un 25% por década. Las aguas del Estero de Zonda sin embargo muestran contaminación que se trata en la planta de tratamiento de OSSE para consumo de red en los meses de invierno.



Crecimiento poblacional del Departamento de Zonda desde 1960 a 2001

DEPARTAMENTO ZONDA	CENSOS				
AÑOS	1960	1970	1980	1991	2001
HABITANTES	2263	2104	2429	2905	4038

Fuente:IIEE

Fig.8- Datos de crecimiento poblacional según INDEC en las últimas cuatro décadas.

Fuente: INDEC,gráfico elaborado por L.Gamboa, en base a los resultados del Censo Nacional de Población, Hogares y Viviendas 2001.

CRECIMIENTO POBLACIONAL DE ZONDA ESTIMADO POR INDEC HASTA 2010

Años	Habitantes
2001	4069
2002	4183
2003	4295
2004	4407
2005	4522
2006	4536
2007	4749
2008	4864
2009	4978
2010	5092

Fig.9- Crecimiento poblacional estimado para la década en curso.

Relación con el Turismo

Para las poblaciones que viven en una zona árida, San Juan es una de las provincias con menos precipitaciones de la República Argentina, con temperaturas superiores a 30º y en ocasiones sobrepasando los 40º en verano, cualquier curso de agua, natural o no, se convierte en un lugar "apto para pasar el día" refrescándose.

Con anterioridad a la construcción del Dique de Ullúm, en el valle solo estaba el camping municipal del Cerro Blanco, que se genera en torno a la presencia de unas piletas utilizadas para desarenar el agua proveniente del río y derivarla para riego, ubicado al comienzo del abanico aluvial del río San Juan; el mismo contaba con escasos servicios para el acampante por lo que no se pernoctaba allí, al igual que en el "Estero de Zonda" al comienzo de la quebrada de Zonda en la zona aledaña al Dique Soldano, donde el turista solo podía pasar el día. Con posterioridad a la realización de la batería de pozos oficiales (1968-1972), la zona de lo que hoy se conoce como Parque Presidente Sarmiento también constituyó un sitio para el turista de fin de semana, ya que no estaba habilitado para acampar. A la fecha funcionan los campings de Cerro Blanco y otro en la zona del perilago sobre el Dique Lateral, ambos con servicios que permiten acampar; se instaló una zona de cabañas con habitantes semipermanentes (Villa Tacú) que se alquilan, prolongando el tiempo de permanencia del turista ya que se encuentra muy cerca de la villa cabecera y calle de por medio con el camping sobre el dique lateral, y distintas cabañas en sectores diseminados dentro del valle. Los sitios ubicados sobre el perilago están obligados a respetar las normativas sobre manejo de efluentes que rige para la zona adyacente al espejo de agua del dique "Presa Quebrada de Ullúm", aunque no todos las cumplen ya que se han detectado contaminantes en el propio lago.
La propuesta de aprovechamiento turístico puede ser, de acuerdo con Naveda,A (2006) la siguiente:

1- Circuito de Museos:
Museo de la Montaña: ubicado sobre ruta Nº 12, pasando el control fitosanitario, se encuentra una escuela permanente de montaña, se dictan cursos de montañismo, posee muro de escalada, cuevas de entrenamiento, cancha de fútbol, pileta.
Museo Enzo V. Manzini: fue el primer Director de Turismo de la Provincia de San Juan y un coleccionista de objetos del lugar. Cuenta con cinco secciones históricas: Arqueología y paleontología, Sala Nazario Benavidez y sala del periodista, Arte sacro vida cotidiana.También se encuentra un parque temático de juegos ancestrales de América, en el que se reproducen juegos indígenas.

2- Circuito Recreativo:
Camping Cerro Blanco y Río San Juan: Se accede por ruta Nº 12 hasta llegar al Cerro Blanco. Cuenta con pileta de natación, parrilleros, proveeduría, agua potable,
sanitarios y lugar para carpas. Al estar al costado del Río San Juan se puede practicar rafting; mountan bike, escalamiento al Cerro Pared.

Camping Dique Lateral y Perilago: Se accede por ruta Nº 12 al llegar a calle Las Moras continuar por esta hasta el camping. Allí se puede practicar pesca, caminatas, mountan bike y cuenta con todos los servicios de camping.

Sierras Azules: Se accede por ruta Nº 12 y posteriormente por calle Sarmiento hasta llegar a las Sierras Azules. Se pueden realizar cabalgatas guiadas por la falda de las Sierras. En la cima se encuentra la gruta con la imagen de la Virgen de Lujan. Allí se realiza una peregrinación anual de interés religioso.

Agrupación Gaucha "Mario Gutiérrez":Acceso por ruta Nº 12 hasta calle Sarmiento y luego por calle Matías Sánchez. Se realizan eventos dos veces al año en los meses de Abril y Diciembre, donde se presentan artistas de danzas folclóricas y comidas típicas de la Provincia. Es una fiesta muy importante para el Departamento.

3. Circuito de Diferimientos:
Debido a que es uno de los Departamentos que cuenta con mayor cantidad de diferimientos agrícolas en la Provincia, sería muy importante mostrar estos modos de producción y conocer los procesos de la cadena productiva de: vides, olivos, fruta de carozo, etc.

- Leviand S. A .Acceso: Por ruta Nacional 12 hasta Km. 28. Tiene una superficie de 280 hectáreas es el más grande del Departamento con plantaciones de uva y damascos.
- La Ponderosa:Ubicación calle Matías SÁNCHEZ y San Martín. Características cuenta con 84 hectáreas. Plantaciones de vid – cuenta con cámara frigorífica y bodega.

- Viñas del lago:Ubicación calle Matías SÁNCHEZ y Sarmiento. Características: cultiva 72 hectáreas con plantación de vides.

Fig.10- Ubicación de los últimos núcleos poblacionales en el perilago del dique de Ullúm, vinculados en una imagen tomada de Google.

Conclusiones

De todo lo expuesto se obtiene que:

- El acuífero libre tiene una dinámica importante, comprobándose de inmediato la falta o exceso de aporte de caudal principalmente en la zona adyacente al espejo de agua del embalse.
- Debido a su dinámica, se establecen cuatro zonas de susceptibilidad al ascenso del nivel freático que limitarían las instalaciones en forma permanente, aunque actualmente se ven construcciones elevadas por sobre el nivel del terreno en el acceso al valle a través de la quebrada de Zonda.
- La Ubicación de la Villa Basilio Nievas, en las condiciones actuales de napa ascendida no es la adecuada por la cercanía del nivel freático, considerando que carece de servicio de cloacas.
- Debido al crecimiento poblacional estimado en un 25% aproximadamente cada 10 años, se sugiere la instalación de una red cloacal y planta de tratamiento de líquidos a fin de preservar el acuífero ya que no solo se vuelcan excretas, que pueden degradarse, a los pozos ciegos.
- La ampliación de la superficie cultivada ofrece un área mayor para la recarga por infiltración de agua de riego conllevando el acarreo por lixiviación de pesticidas y abonos cada vez menos orgánicos.
- Dado que el valle es un oasis en una zona árida, como lo es la provincia de San Juan, es un privilegio otorgado por la naturaleza que se debe preservar.
- El acuífero es un reservorio de agua al que solo debería recurrirse en caso de máxima necesidad y por lo tanto se debe preservar para el futuro.

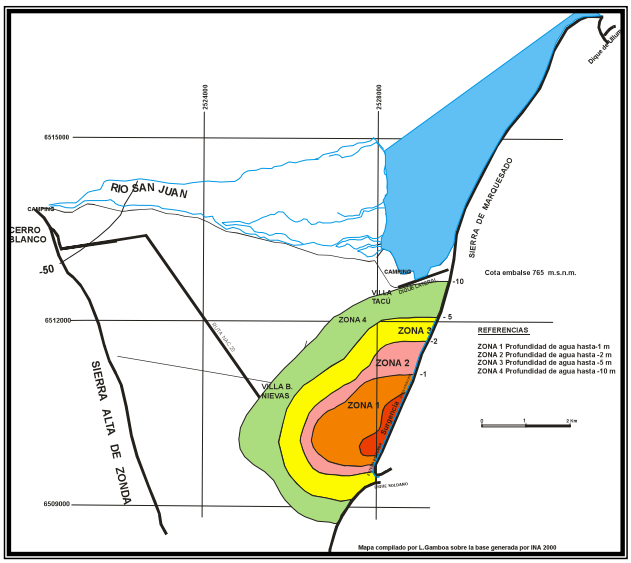


Fig.11- Áreas de susceptibilidad al ascenso de la freática sobre la base de datos del año 2000.

Bibliografía

- Baldis, Bruno y Chebli,Gualter.1969- Estructura profunda del área central de la Precordillera sanjuanina. IV Jornadas Geológicas Argentinas ,tomo I pag.47-65.
- Baldis,B. y A.Vaca (1986). Megafracturas relacionadas con el sistema precordillerano. Primeras Jornadas sobre geología de Precordillera. San Juan, oct,1985. Actas I: 204-208.
- Custodio,E. y M:R:Llamas (2001)- Hidrología subterránea-Cap.18.3-Ed.Omega.2ª Edición.
- Departamento de Hidráulica. Página de Internet. 2007.
- INDEC. Página de Internet. Datos censo 2001.
- NDEC- Censos desde 1869. Variación del crecimiento poblacional del Departamento Zonda.
- INDEC. (2008)- Estimaciones de población total por departamento y año calendario. Período 2001-2010-Nº34- Serie análisis demográfico.
- Miranda, Omar -1999-El uso del agua subterránea para riego en los valles sanjuaninos.- Primeras Jornadas Interdisciplinarias de Estudios Agrarios y Agroindustriales-UBA. Fac. de Cs. Económicas.
- Miranda, Silvia A. (1989)- Estudio gravimétrico del Valle Ullum-Zonda sur. Trab. Final de Lic. en Geofísica.-FCEFyN. UNSJ.
- Naveda, Alicia, Diana Lopez y Cristina Ayza (2006)- Plan de Turismo sustentable: Zonda, un viaje al corazón de losAndes. San Juan Argentina-En www.alasru.org/cdalasru2006.
- Ortiz, Apolo y Juvenal Zambrano (1981)-La provincia geológica Precordillerana oriental. Octavo Congreso Geológico Argentino. San Luis ,set 1981. Actas III p.59-74
- Robles,O., Wetten,Cristian. y Rodríguez,José.(1978)-Prospección geoeléctrica e interpretación geológica de las líneas X-X' y XII-XII'-Valle de Ullum-Zonda. Prov. de

San Juan.-Documento NºD-37- Centro Regional de Agua Subterránea.
- Salinas, Nélida G. (1979)- Estudio Geológico sedimentológico de la Cuenca lacustre de Ullum-Zonda- Trab. final de Lic.en Cs. Geol.FCEFyN.UNSJ –
- Zambrano, Juvenal. (1983)- Actualización del conocimiento geológico del Valle de Ullum-Zonda. Serie Técnica nº P 261- Centro Regional de Aguas Subterráneas.
- Eguaburo,César (2007)-Recuperación y aprovechamiento integral de la Cuenca subterránea del Valle de Zonda- UNSJ, Fac. de Ing.Carrera de especialización “Tecnología del Agua”.Trabajo de Proyecto final.

INFLUENCIA DE LOS CAMBIOS EN EL SOL Y EL CO2 EN EL CALENTAMIENTO GLOBAL USANDO EL EDGCM

Reinaldo Agustín Maenza (1)
Rosa Hilda Compagnucci(1, 2)

(1) Universidad de Buenos Aires, Facultad de ciencias Exactas y Naturales, Departamento de Ciencias de la Atmósfera y los Océanos, Ciudad de Buenos Aires, Intendente Güiraldes 2160 - Ciudad Universitaria – CP C1428EGA.
(2) CONICET, Ciudad de Buenos Aires, Avda. Rivadavia 1917 - CP C1033AAJ.

Palabras Clave

- Calentamiento Global
- Mínimo de Maunder
- Variabilidad solar
- CO2
- Modelos de Circulación General
- EdGCM

Resumen

De acuerdo con el reporte del IPCC (2007), el Cambio Climático se debió principalmente al aumento antropogénico del CO2, 98% de influencia, mientras que fue estimada en sólo el 2% la debida a la irradiancia solar. Sin embargo existen autores que adjudican una mayor influencia al aumento de la irradiancia observada durante el Siglo veinte, la cual fue extraordinaria con respecto a los últimos 8000 años.

El Calentamiento Global marcó la salida de la Pequeña Edad de Hielo, período frío extendido desde mediados del siglo XIV hasta el siglo XIX con temperaturas menores durante el Mínimo de Maunder (MM). La disminución de la actividad solar, el aumento de la actividad volcánica y el cambio en las concentraciones de CO2 fueron los principales forzantes durante esos períodos. En el presente trabajo se realizan distintas simulaciones de las condiciones climáticas, mediante el Modelo de Circulación General EdGCM, con el fin de obtener escenarios de respuesta a los aumentos de irradiancia y de CO2.

Los escenarios para condiciones actuales de gases invernadero e irradiancia son contrastados con el del MM. También, para evaluar cualitativamente el efecto de los dos principales forzantes del Calentamiento Global, se realizan simulaciones contrastando los escenarios obtenidos para las condiciones actuales de irradiancia solar pero con concentraciones de gases invernadero del período pre-industrial y simulaciones con concentraciones de CO2 de la segunda mitad del siglo veinte pero con la irradiancia solar del MM.

Los resultados muestran que el aumento del CO2 producido entre el período pre-industrial y el fin del siglo veinte triplicaría el impacto producido por el aumento de la irradiancia. A su vez aumentando el CO2 en la simulación se alcanza mucho más rápidamente la situación de equilibrio que aumentando la irradiancia. Este resultado podría indicar que el clima responde mucho más rápidamente al cambio de CO2 que al solar.

Introducción

De acuerdo con los reportes del Panel Intergubernamental para el Cambio Climático (IPCC), el aumento antropogénico en las concentraciones de los gases invernadero en especial del CO2 fue el principal forzante del Calentamiento Global registrado en el siglo veinte. El incremento de temperatura entre 1750 y el 2005 le fue adjudicado al CO2 un forzado radiativo de 1,66 W/m2 mientras que la influencia solar fue estimada en sólo 0,12 W/m2 lo cual es equivalente a menos del 10% del forzado por el CO2 (IPCC;2007).

Algunos investigadores postulan que la influencia de la creciente actividad solar registrada fue muy significativa y subestimada por el IPCC (Cornelis & Pager, 2006; Camp & Tung, 2007; Lean & Rind, 2008).

Por otra parte, en estudios recientes se resalta que considerando sólo el forzante solar sin el incremento antropogénico del CO2 no podría justificarse el incremento de temperatura en las dos últimas décadas del siglo veinte, ya que la irradiancia solar permaneció relativamente constante mostrando una leve tendencia negativa, mientras que la temperatura global siguió incrementándose (Lockwood & Fröhlich, 2007).

El objetivo del presente trabajo es aportar mayor información respecto a estas dos posturas, mediante la simulación de los cambios de temperatura ocurridos entre la Pequeña Edad de Hielo (PEH) y fines del siglo XX.

Aparentemente, el Calentamiento Global marcó la salida de la PEH el cual fue un período frío extendido desde mediados del siglo XVI hasta mediados del siglo XIX debido a la baja irradiancia solar, las reducidas concentraciones de CO2 y el efecto del vulcanismo. En la PEH ocurrieron tres pulsos de enfriamiento, el comprendido entre 1645-1715, denominado Mínimo de Maunder (MM), fue el más extremo (Lamb, 1979). Posteriormente, la actividad solar se fue incrementando pero también ocurrió la llamada Revolución Industrial en la segunda mitad del siglo XVIII que trajo aparejado el incremento antropogénico del CO2. Durante la segunda mitad del siglo XX por una parte se registraron valores de actividad solar sin precedentes en los últimos 8000 años (Solanki y otros, 2004) y por otra un incremento extraordinario del CO2 adjudicado al efecto antropogénico asociado al explosivo desarrollo tecnológico, industrial y automotriz.

A partir de los Modelos de Circulación General (MCG) es posible simular escenarios climáticos bajo distintas condiciones de los forzantes. Por ello en el presente estudio se empleó el EdGCM, MCG de la Universidad de Columbia versión del GISS de NASA disponible en Internet (http://edgcm.columbia.edu/), para simular los incrementos de temperatura producidos entre el MM y las últimas dos décadas del siglo XX. El modelo presenta salidas para las variables climáticas más importantes con una resolución de 8º de latitud por 10º de longitud.

Los escenarios producidos simulan el calentamiento debido a la influencia conjunta de los gases invernadero y la irradiancia solar, el forzado independientemente producido por el incremento de la actividad solar, el aumento sólo del CO2 y el correspondiente a todos los gases invernadero.

A fin de evaluar el comportamiento del EdGCM también se simularon las condiciones de 1680 y 1780 que fueron comparadas con información dendrocronológica de Norte América y con los resultados obtenidos por Shindell y otros (2001, de aquí en más Sh2001) que analizaron la influencia del cambio de irradiancia solar entre ambos períodos mediante otra versión del GISS de NASA. Además, las anomalías anuales negativas de temperatura producidas al comparar los escenarios del MM (período 1669-1690) respecto al período 1979-2000, considerando los valores promedio de gases invernadero e irradiancia solar, fueron comparadas con información indirecta del sistema climático (proxy datos) sobre el área de Argentina. Estos resultados junto con los tres escenarios son presentados y discutidos en la sección 2 y las conclusiones en la sección 3.

Las concentraciones de los gases invernaderos son tomadas del trabajo de Robertson A. y otros 2001, mientras que los valores de irradiancia son extraídos del trabajo de Lean J. 2004.

Resultados

Estabilización del EdGCM

Las diferentes condiciones iniciales de las simulaciones realizadas con el modelo EdGCM están detalladas en la tabla I. Los valores de las primeras cuatro corridas corresponden al promedio de 22 años (dos ciclos solares) de 1669 al 1690 y de 1979 al 2000 para el MM y las condiciones actuales (CA) respectivamente.

La simulación MM_Sol con concentraciones de gases invernadero correspondientes al MM y la irradiancia solar promedio del período 1979-2000 implicaría el efecto del incremento sólo de la irradiancia solar respecto a las condiciones del MM.

La simulación MM_CO2 con condiciones de CO2 promedio del período 1979-2000 mientras que los otros gases invernadero y la irradiancia solar corresponden al MM, correspondería al aumento de temperatura producido sólo por el incremento del CO2.

Corrida de 100 años	Condiciones Iniciales						Siglas
	CO2 (ppm)	CH4 (ppm)	N2O (ppm)	CFC11 (ppm)	CFC12 (ppm)	Cte. Solar (W/m^2)	
Mínimo Maunder	276,4136	0,7354	0,2851	0	0	1363,4394	MM
Actual	352,6045	1,6825	0,3059	0,2362	0,4442	1366,1676	CA
Mínimo con incremento de CO2	352,6045	0,7354	0,2851	0	0	1363,4394	MM_CO2
Mínimo con Cte. Solar actual	276,4136	0,7354	0,2851	0	0	1366,1676	MM_Sol
MM : irradiancia de 1680	276,4000	0,7355	0,2851	0	0	1363,4401	MM_Shin
Post MM : irradiancia de 1780	276,4000	0,7355	0,2851	0	0	1365,2184	Post_Shin

Tabla I: Concentraciones de los gases invernadero y constante solar de cada simulación.

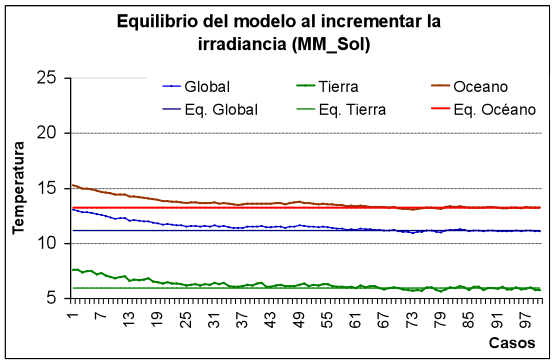
En la figura 1 se muestra el tiempo de caída de la temperatura global desde las condiciones actuales (CA: promedio 1979-2000) hasta alcanzar valores estables y representativos de las nuevas condiciones. En cada una de las simulaciones se obtuvieron curvas de equilibrio similares por lo que sólo se muestran las correspondientes a MM_Sol y MM_CO2 para la temperatura del aire de superficie.

En la simulación con condiciones de radiación actual y disminución de la concentración de gases invernadero incluyendo el CO2 a valores correspondientes al MM (MM_Sol) el tiempo necesario para alcanzar condiciones estables es aproximadamente 60 años. El océano alcanza el equilibrio en aproximadamente 55 años (curva roja) mientras que el área continental permanece oscilando alrededor de un valor promedio y estas oscilaciones se amortiguan en aproximadamente 67 años (curva verde).

El tiempo de caída a los valores de equilibrio es mucho más rápida cuando el CO2 se mantiene en los valores actuales y llevando la irradiancia solar junto con los restantes gases

invernadero a los valores del MM (MM_CO2). De acuerdo con el EdGCM, los resultados implicarían que la reacción del sistema climático es mucho más rápida ante variaciones solares y de gases como el CH4 (MM_CO2) que ante el incremento del CO2 (MM_Sol).

Los últimos 30 años, que pueden considerarse en estado de equilibrio para las distintas simulaciones, son empleados para calcular los valores medios que determinan el escenario de la situación climática forzada.



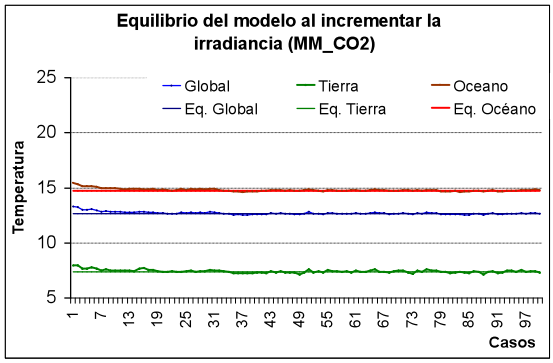


Figura 1: Temperatura superficial del aire en función de los años-modelo. Panel izquierdo: disminución de los gases invernadero. Panel derecho: disminución de CH4, N2O, CFC11&12, y la irradiancia solar.

Validación de las simulaciones

Las anomalías de temperatura entre el MM (1689) y el post-MM (1780) obtenidas por Sh2001 son comparables a las obtenidas del modelo EdGCM (figura 2).

Ambos muestran patrones con alternancia de anomalías frías y cálidas. Una de las anomalías cálidas está localizada sobre Alaska y el Océano Pacífico Norte, en el área bajo la influencia de la baja de las Aleutianas, indicando profundización del sistema, propio de condiciones El Niño (Niebauer, 1988).

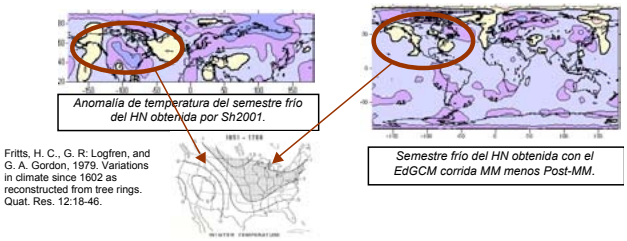


Figura 2: Anomalías de temperatura entre el MM y post-MM del semestre Noviembre-Abril.

Las cronologías de América del Norte, el dipolo generado entre la anomalía cálida sobre Alaska y la fría sobre el noreste de América del Norte está más acentuado en los resultados de Sh2001 que en los resultados del EdGCM. Muestran para los inviernos de los períodos 1602-1650 y 1651-1700 el mismo patrón de anomalías (Fritts et al., 1979). Dichos patrones son consistentes con el dipolo mostrado por ambas simulaciones y con las anomalías de temperatura durante los eventos El Niño del siglo veinte.

También la simulación con el EdGCM presenta, al igual que Sh2001, anomalías cálidas durante el MM en el área del Atlántico Norte entre Groenlandia y Europa. Estos resultados coinciden con el patrón de anomalías de temperatura superficial del mar dado por Lamb (1979) y se asocian a la fase fría de la Oscilación del Atlántico Norte que permite que el aire frío de Siberia penetre profundamente en Europa (Rodwell y otros, 1999).

La simulación del EdGCM muestra anomalías menos intensas que los resultados previos de Sh2001. La región cálida de Medio Oriente está más extendida en Sh2001, mientras que la localizada sobre el sector noreste de Asia está mucho más pronunciada en la corrida del EdGCM y esta asociada a una intensa anomalía cálida sobre el Ártico inexistente en Sh2001. Este parecería ser un defecto del EdGCM que genera fallas en la simulación de las regiones polares.

Escenario de anomalías para el MM versus información de proxy datos

En la figura 3 se muestra el escenario del decrecimiento de la temperatura anual, producido al simular las condiciones del MM con menores concentraciones de gases invernadero e irradiancia solar. Las anomalías respecto a las CA son comparadas con los siguientes proxy datos obtenidos sobre Argentina y mares del sur:

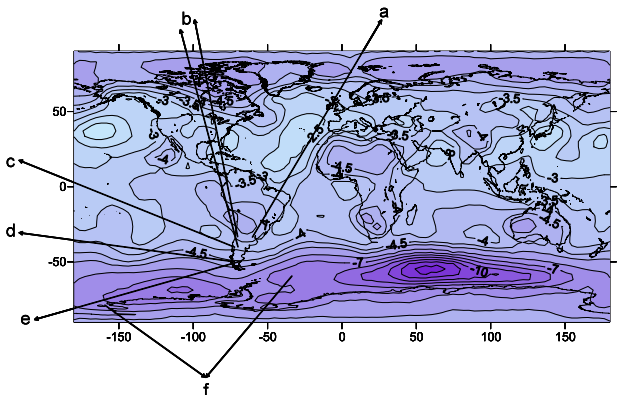


Figura 3: Anomalías anuales de temperatura superficial del aire entre condiciones de irradiancia solar y gases invernadero correspondientes al Mínimo de Maunder y fines del siglo XX.

- Deschamps et al. (2003) y Tonni (1990) destacan el hallazgo en la provincia de Buenos Aires de fósiles correspondientes a animales característicos de la Patagonia, cuyas dataciones corresponden a la Pequeña Edad de Hielo.
- Esto implicaría que la región sufrió un enfriamiento del orden de 4ºC que es la diferencia actual entre la temperatura media anual en la zona de los hallazgos y el norte de la región patagónica. Este valor coincide con la estimación obtenida por la simulación.
- Villalba et al. (2003) en el análisis dendrocronológico de diversas regiones de la cordillera patagónica (figura 8), se muestra que durante el MM (1650-1700) las anomalías de temperatura en el noroeste de Patagonia, (con -4ºC) fueron menores que las de la región central (con -2ºC). Este resultado coincide con el escenario de más intensas anomalías en relativamente menores latitudes que producen un gradiente hacia bajas latitudes en la región.

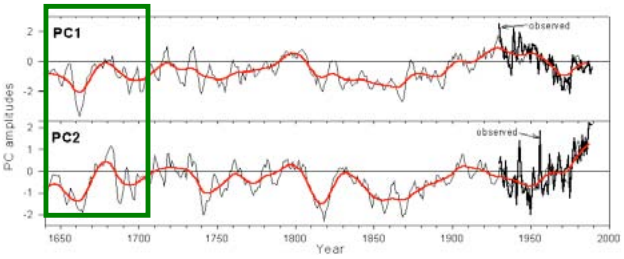


Figura 4: Variaciones de temperatura reconstruidas para el noroeste (arriba) y sur (debajo) de Patagonia desde AD 1630 a 1987 (Villalba et al., 2001).

- Bertrand et al., (2005) sugieren la distinción de dos períodos, uno húmedo (1490-1700) y otro seco (1700-1900) en la región de Puyehue, localizada sobre Chile a la misma latitud que Bariloche. El período húmedo corresponde al comienzo de la Pequeña Edad de Hielo y comprende al MM.
- Koch y Kilian (2005) a partir del análisis de proxy datos (anillos de árboles y otros) sugieren que el mayor avance de los glaciares se da durante la Pequeña Edad de Hielo sobre la región de Campo Nevado y otros ubicados en regiones próximas a éste.
- Meyer y Wagner (2008) a partir de un downscalling de la corrida de un modelo GCM y su posterior comparación con un reanálisis del NCEP en el período 1951-2000 y con proxy datos (anillos de árboles, polen y avance de glaciares terrestres de otros autores) sugieren que durante la Pequeña Edad de Hielo predominó un clima de carácter húmedo y fresco al sudeste de la Patagonia.
- Parkinson (1990) a partir de los diarios del Capitán Cook indica una desigual expansión de hielo alrededor de la Antártida. La cobertura de hielo fue generalmente mayor en el Mar de Weddell pero menor en el Mar de Ross. Esta inferencia sería consistente con las diferentes magnitudes de anomalías alrededor del Océano Circumpolar Antártico mostradas por la simulación. Resultan mayores las del este del Mar de Weddell que las del Mar de Ross (figura 8).

Análisis de los diversos escenarios

En la figura 5 se muestran las anomalías semestrales de temperatura producidas por diversos forzantes de acuerdo con los siguientes escenarios:

- AC-MM: El incremento de la irradiancia solar desde el MM y de los gases invernadero CO2, N2O, CH4 y Clorofluorocarbonos (CFC11 y CFC12) ocurridos desde la era pre-industrial.
- MM_Sol - MM: El incremento de la irradiancia solar desde el MM.
- MM_CO2 - MM: El cambio del CO2 desde la era pre-industrial.
- AC - MM_Sol - MM_CO2 + MM: El aumento del CH4, N2O, CFC-11 y CFC-12.

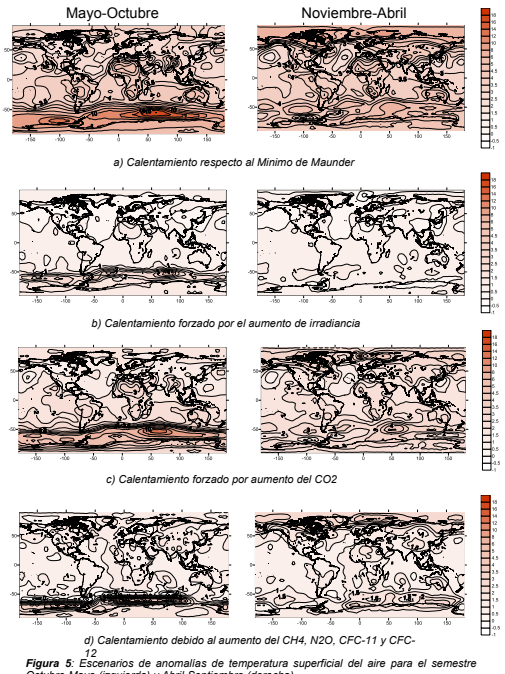


***Figura 5**: Escenarios de anomalías de temperatura superficial del aire para el semestre Octubre-Mayo (izquierda) y Abril-Septiembre (derecha).*

La magnitud de las anomalías positivas de latitudes medias-altas es destacable en especial durante los meses invernales del respectivo hemisferio, siendo menores en la estación cálida. Es marcada también la variación zonal. En áreas ecuatoriales-tropicales las anomalías son notoriamente inferiores, también es menor la variabilidad zonal e inter-estacional.

El forzado producido al incrementar sólo el CO2 (fig. 5c) y aún en el caso de considerar los gases invernadero a excepción del CO2 (fig. 5d) causa un mayor incremento de temperatura que el producido al aumentar la irradiancia solar (fig. 5b). Sin embargo, el forzado solar resulta significativo representando en promedio una tercera parte del producido por el CO2 y aproximadamente la mitad del producido por los otros gases invernadero.

Latitud	May-Oct CO2	May-Oct Sol	May-Oct Otros gases	May-Oct CA-MM	Nov-Abr CO2	Nov-Abr Sol	Nov-Abr Otros gases	Nov-Abr CA-MM
90	1,83	0,63	1,05	3,51	2,43	0,21	2,65	5,29
84	1,96	0,70	0,77	3,42	3,09	0,64	3,15	6,87
76	1,51	0,50	1,13	3,14	3,42	1,00	3,06	7,48
68	1,51	0,40	0,99	2,89	3,09	0,93	2,29	6,32
60	1,17	0,34	0,95	2,46	2,45	0,63	1,76	4,84
52	1,26	0,37	1,08	2,71	2,04	0,58	1,28	3,91
44	1,32	0,32	1,07	2,70	1,83	0,52	1,07	3,42
36	1,43	0,40	0,96	2,79	1,54	0,43	0,98	2,96
28	1,62	0,55	1,01	3,19	1,52	0,42	1,05	2,99
20	1,81	0,64	0,89	3,34	1,75	0,59	0,88	3,22
12	1,76	0,67	0,76	3,19	1,77	0,63	0,90	3,29
4	1,89	0,70	0,81	3,41	1,95	0,69	0,87	3,51
-4	1,96	0,76	0,84	3,56	1,93	0,74	0,88	3,54
-12	2,16	0,75	0,93	3,84	2,04	0,73	0,88	3,65
-20	2,31	0,76	1,01	4,08	2,14	0,77	0,96	3,87
-28	2,22	0,76	0,99	3,97	2,17	0,73	1,08	3,98
-36	2,27	0,82	0,82	3,91	2,31	0,80	0,93	4,04
-44	3,14	1,07	0,84	5,05	2,86	0,94	0,96	4,76
-52	5,97	2,27	0,21	8,45	3,19	0,92	1,42	5,53
-60	7,09	2,63	2,20	11,92	2,16	0,70	1,59	4,45
-68	4,67	1,54	2,56	8,77	2,67	0,66	1,68	5,00
-76	4,56	1,55	2,17	8,28	2,68	0,68	1,32	4,68
-84	3,12	1,17	1,64	5,93	2,43	0,83	1,19	4,46
-90	2,58	1,13	1,58	5,29	1,93	0,92	1,32	4,17
Promedio	2,55	0,89	1,14	4,57	2,31	0,70	1,42	4,43

Tabla II: Promedios latitudinales de anomalías de temperatura para los escenarios de las figura 5.

Las anomalías por bandas de latitud, que se encuentran en la Tabla 2, sintetizan algunas de las inferencias previas. En todas las simulaciones el semestre Mayo-Octubre presenta las mayores anomalías para latitudes medias del HS, aún mayores que las anomalías del HN para el período Noviembre-Abril. Considerando estos resultados surge la siguiente pregunta de difícil respuesta: ¿El modelo está simulando adecuadamente las condiciones en el entorno de 60ºS? En el Océano Circumpolar Antártico las anomalías son extremadamente altas, especialmente en el Océano Indico donde alcanza valores superiores a 17ºC, las cuales parecerían ser irreales. En esta región los proxy datos provienen de testigos marinos, y los mismos carecen de la resolución requerida para tener información que permita corroborarlos.

También es posible observar que las anomalías producidas por el aumento de CO2 para muchas bandas de latitud triplican los forzados por el incremento de la irradiancia solar. El efecto está maximizado durante el semestre frío en especial para altas latitudes del HN, resultado en acuerdo con otros estudios como la reconstrucción de temperatura de verano en París (Le Roy Ladurie y Baulant, 1980) y otros indicadores analizados por Pfister (1985) que señalarían a la Pequeña Edad de Hielo como un fenómeno primordialmente de invierno (Crowley y North, 1991).

Conclusiones

En el presente estudio se empleó el EdGCM, modelo de circulación general de la Universidad de Columbia, modificación del GISS de NASA disponible en internet, que permite simular distintas condiciones climáticas a partir de la modificación de varios forzantes, entre ellos la concentración de los gases invernaderos y la irradiancia solar.

A pesar de la baja resolución espacial de este modelo, el mismo resultó útil para obtener un avance sobre la influencia de la irradiancia solar y el CO2 como forzantes del Calentamiento Global del siglo XX.

Los resultados obtenidos al mimetizar el experimento realizado por Sh2001, fueron cualitativamente consistentes. Las diferencias entre nuestros resultados y los previamente obtenidos por Sh2001 se podrían adjudicar principalmente a que son modelos diferentes aunque ambos sean derivados del GISS-NASA. Otro factor es que no se utilizó la misma base de datos de concentraciones de gases invernadero e irradiancia solar que Sh2001. También podría estar influyendo que en Sh2001 se realizaron sólo 60 años de corridas de las cuales promediaron los últimos 25 años. Nosotros encontramos que la estabilidad para el EdGCM ocurre posteriormente a los primeros 60 años y por ello en nuestro caso tomamos los últimos 30 años de un experimento de 100 años para obtener los promedios climáticos mostrados.

Al contrastar los campos de anomalías anuales de temperatura del HN con proxy datos, estos se correspondieron muy bien con los escenarios producidos por el EdGCM, en especial el dipolo de anomalías sobre América del Norte. Además para el cono sur de América del sur y el Océano Circumpolar Antártico, las informaciones de los diferentes proxy datos resultaron coherentes con las anomalías dadas por el modelo.

El EdGCM sólo permite cambiar los forzantes aquí analizados, por ello el efecto producido por otros gases invernadero, como el vapor de agua, los CFC-13, CFC-14 y CFC-15, el ozono (O3), y el vulcanismo, fueron obviados. Es por ello que estos escenarios sólo son parcialmente válidos a nivel referencial.

El Calentamiento Global parecería ser más importante durante el semestre frío y para latitudes medias y altas. Las anomalías son menores en los semestres cálidos y en latitudes subtropicales a tropicales.

Al simular las condiciones forzantes aumentando el CO2, las anomalías positivas fueron más intensas, llegando a casi el triple, que cuando se simuló el incremento de irradiancia. Esto implicaría que el aumento antropogénico de CO2, producidos durante la segunda mitad del siglo XX y que condujeron al Calentamiento Global, casi triplicaría la influencia solar.

El efecto del CO2 es ampliamente aceptado por la comunidad científica, pero sin embargo algunas veces es subestimado el efecto del incremento de actividad solar, dándole una relevancia casi insignificante. Por ello este resultado aportaría evidencias a favor de los que sostienen la presencia significativa de la señal solar en la variación de la temperatura de superficie.

Agradecimientos

El trabajo fue realizado en el marco de los proyectos del CONICET PIP Nº5006, AGENCIA-MINCYT PICT-2007-00438 PESTRAMO BID, A0811 Proyecto bilateral: República Argentina (MINCYT) y el NRF de Sudáfrica y UBACYT 2008-2010. X224.

Bibliografía

- Bertrand, S., Boës, X., Castiaux, J., Charlet, F., Urrutia, R., Espinoza, C., Lepoint, G., Charlier, B. and Fagel, N., 2005. Temporal evolution of sediment supply in Lago Puyehue (Southern Chile) during the last 600 yr and its climatic significance. Quaternary Research 64: 163-175.
- Camp Ch.D. and K.K. Tung (2007): Surface warming by the solar cycle as revealed by the composit mean difference projection. Geophys. Res. Lett. , 34, L14703,doi:10.1029./2007GL030207.
- Cornelis de Jager and I. Usoskin (2006) : On possible drives of Sun-induced climate changes. J of Atmospheric and Solar-Terrestrial Phys.68, 2053-2060.
- Crowley, T.J. and G.R. North, 1991, Paleoclimatology, Oxford Monographs on Geology and Geophysics 18, 349 págs.
- Deschamps, J.R., O. Otero y E. P. Tonni, 2003. "Cambio climático en la pampa bonaerense: las precipitaciones desde los siglos XVIII al XX". Universidad de Belgrano, Departamento de Investigación, Documentos de Trabajo 109: 1-18.
- Fritts, H. C., G. R: Logfren, and G. A. Gordon, 1979. Variations in climate since 1602 as reconstructed from tree rings. Quat. Res. 12:18-46.
- IPCC, 2007, IPCC Fourth Assessment Report: Climate Change 2007, Working Group I: The Physical Science Basis of Climate Change, Chapter 6: Paleoclimate, Online in: http://ipcc-wg1.ucar.edu/wg1/wg1-report.html.
- Koch, J. y Kilian, R., 2005. "Little Ice Age" glacier fluctuations, Gran Campo Nevado, southernmost Chile. The Holocene 15: 20-28.
- Lamb, H. H., 1979. Climate variation and changes in the wind and ocean circulation: The Little Ice Age in the North Atlantic. Quat. Res. 11:1-20.
- Lean, J.. 2004. Solar Irradiance Reconstruction. IGBP PAGES/World Data Center for Paleoclimatology Data Contribution Series # 2004-035. NOAA/NGDC Paleoclimatology Program, Boulder CO, USA.
- Lean J.L. and D.H. Rind (2008): How natural and anthropogenic influences alter global and regional surface temperatures:1889 to 2006. Geophys. Res. Lett. , 35. L18701, doi: 10.1029/2008GL034864.
- Le Roy Ladurie, E. and Baulant, M., 1980. Grape harvests from the fifteenth through the nineteenth centuries. Inderdisc. History 10, pp. 839–849.
- Lockwood M. and C. Fröhlich (2007): Recent oppositely directed trends in solar climate forcings and the global mean surface air temperature. Proc. R. Soc. A, 463, pp. 2447-2460.
- Meyer, I. y Wagner, S, 2008. The Little Ice Age in southern Patagonia: Comparison between paleoecological reconstructions and downscaled model output of a GCM simulation. PAGES News 16:12-13.
- Niebauer, H.J., 1988, Effects of El Nino-Southern Oscillation and North Pacific weather patterns on interannual variability in the subarctic Bering Sea, Journal of Geophysical Research 93 (1988), pp. 5051–5068.
- Parkinson, C. L., 1990, Search for the Little Ice Age in Southern Ocean sea ice records. Ann. Glac. 14:221-225.
- Pfister, C., 1985. CLIMHIST: A weather data bank for Central Europe. Meteosat, Bern, pp. 1525-1863.
- Robertson A., Overpeck J., Rind D., Mosley-Thompson E., Zielinski G., Lean J., Koch D., Penner J., Tegen I., y Healy R., 2001: Hypothesized Climate Forcing Time Series
- for the Last 500 Years Journal of Geophysical Research, v.106, No. D14, pp. 14,783-14,803.
- Rodwell, M. J., D. P. Rowell, and C. K. Folland, 1999: Oceanic forcing of the wintertime North Atlantic oscillation and European climate. Nature, 398, 320-323.
- Shindell, D.T., G.A. Schmidt, M.E. Mann, D. Rind, y A. Waple, 2001: Solar forcing of regional climate change during the Maunder Minimum. Science, 294, 2149-2152.
- Solanki, S.K., I.G. Usoskin, B. Kromer, M. Schüssler and J. Beer. 2004. An unusually active Sun during recent decades compared to the previous 11,000 years. Nature, Vol. 431, No. 7012, pp.1084-1087
- Tonni, E.P., 1990, Mamíferos del Holoceno en la provincia de Buenos Aires. Paula-Coutiana, Porto Alegre (4):3-21.
- Villalba, R, Lara, A., Boninsegna, J.A., Masiokas, M.,

Delgado, S., Aravena, J.C., Roig, F.A., Schmelter, A., Wolodarsky, A. y Ripalta, A., 2003, Large-scale temperature changes across the Southern Andes: 20th century variations in the context of the past 400 years. Climatic Change, 59, 177–232.

SISTEMA DE INFORMACIÓN Y ALERTA SOBRE EL CAMBIO CLIMÁTICO Y VULNERABILIDAD DE LAS POBLACIONES ALEDAÑAS A LOS HUMEDALES DE MERCOSUR. CASO PILOTO: ESTEROS DEL IBERÁ. PROVINCIA DE CORRIENTES, ARGENTINA.

Dra. Genoveva de Mahieu (1)

(1) IMAE-USAL. gmahieu@salvador.edu.ar

Resumen

Si bien el cambio climático es una amenaza global, lamentablemente se constituye en un problema más, para el desarrollo de las zonas más pobres de nuestro país y del mundo[1].

Existe claramente una menor capacidad de adaptación al cambio climático, cuando la ubicación de las poblaciones se realiza en áreas geográficas vulnerables y exiguas condiciones socioeconómicas, asociadas a debilidades político –institucionales. En consecuencia, es previsible que la mayoría de las poblaciones vulnerables sean las que sufran los mayores efectos nocivos.

Los Esteros del Iberá[2] están localizados en los: 27º30' - 29º00' S y 56º30' - 59º00' W; entre los ríos Paraná y Uruguay de la Provincia de Corrientes la cual está situada en un área de contacto con Paraguay, Brasil y Uruguay y formando parte del Corredor Bioceánico del MERCOSUR.

El ecosistema del Iberá pertenece al denominado Chaco Húmedo, una ecorregión localizada en el Nordeste de Argentina, en el centro de Paraguay y en pequeñas áreas en el sudoeste de Brasil y es clasificada como por Dinerstein et al. (1995) como vulnerable. Este tipo de humedal se encuentra solamente en la Provincia de Corrientes y en los departamentos vecinos de la zona sudeste del Paraguay, Esteros de Ñeembucu (Ramsar, 2002)[3]. Comprende una región de extraordinario valor ecológico, social y económico, con una abundante biodiversidad y variedad climática, de suelos y recursos acuáticos y un patrimonio cultural único por sus características.

La Provincia de Corrientes se sitúa en una zona cuyo clima se clasifica como Subtropical Húmedo de Llanura o Subtropical, sin estación seca. Un trabajo reciente de la CEPAL, 2009[4] analizando factores condicionantes de la vulnerabilidad ante el cambio climático, destaca particularmente entre otros, al Nordeste Argentino, incluyendo los Esteros del Iberá, y lo mismo se señala en un informe del Banco Mundial 2009[5].

Según información del Servicio Metereológico Nacional Argentina[6] las isohietas (líneas de mismo nivel de precipitaciones) se han corrido en los últimos años hacia el este del territorio argentino. Una interpretación es el efecto a distancia ejercido por El Niño, que puede producir un aumento de las precipitaciones durante la primavera, en una extensa región del Litoral centrada aproximadamente en la provincia de Corrientes.

Los Esteros del Iberá conforman un sistema hidrológico complejo, con variables conocidas y otras desconocidas y pendientes de investigación. Un ejemplo de ello, es el postulado de que este ecosistema constituye una de las principales zonas de recarga del Acuífero Guaraní.

Según M.Auge, 2009[7] la concentración del flujo subterráneo dentro de la equipotencial de 50 m en la Provincia de Corrientes, configura un ámbito de descarga regional del

1 OECD- Poverty and Climate Change. Reducing the Vulnerability of the Poor through Adaptation, 2003.

2 EU-INCO- CORDIS (1994-1998) The sustainable wetland management in esteros del Ibera. www.unisi.it/wetland/esteros.htm.

3 USAL/VRID/IMAE. Proyecto Informe Final: Regional aspects of the sustainable management of wetland resources (REGWET) [Aspectos Regionales del Manejo Sustentable de los Recursos de un Humedal - REGWET] INCO A4 DEV ICFP 599A4AM01. Comisión Europea, Coordinación general: Universidad de Siena, Italia.

4 CEPAL. Cambio Climático y Desarrollo en América Latina y el Caribe. Coordinador: José Luis Samniego. 2009.

5 Banco Mundial. Desarrollo con Menos Carbono. Respuestas Latinoamericanas al Desafío del Cambio ClimÁtico Augusto de la Torre, Pablo Fajnzylber y John Nash. En: Estudios del Banco Mundial sobre América Latina y el Caribe, 2009-03-12.

6 Servicio Meteorológico Nacional, Fuerza Aérea Argentina. http://www.smn.gov.ar/?mod=clima&id=65&clave=Precipitaci%F3n-Media.

7 M. Auge. Acuífero Guaraní. On line: http://www.gl.fcen.uba.ar/investigacion/grupos/hidrogeologia/hidrogeologia/Guarani.htm.

Acuífero Guaraní, caracterizado por la abundancia de agua superficial en los Esteros del Iberá. La recarga por lluvia se estima en 150 km3/año.

Se espera que el cambio del clima exacerbe los impactos en el ciclo del agua los cuales incluyen cambios en patrones de la precipitación y flujos de los ríos, fluctuaciones acentuadas del nivel de los lagos y acontecimientos más extremos tales como inundaciones intensas y sequías más largas. Esto hace necesario, un seguimiento cercano del impacto sobre las poblaciones aledañas a los sitios de recarga de los acuíferos y su impacto sobre los recursos.

La provincia de Corrientes es por definición productora de bienes del sector primario, en especial de productos agrícolas, ganaderos y forestales. En la zona de los Esteros del Iberá esto se ve representado por pocos productos, pero que representan junto con la actividad turística el sustento de toda la región. En el 1º semestre de 2007[8] , el aglomerado de Corrientes presentó índices de pobreza e indigencia aproximadamente el doble de la media del país, los cuales señalan el grado de vulnerabilidad al cambio climático, que pueden sufrir las poblaciones aledañas a los Esteros del Iberá.

El programa propone la elaboración y seguimiento de: los parámetros hidrológicos, hidrométricos y metereológicos, el estudio del impacto del cambio climático sobre la calidad de vida y del impacto económico del CCG sobre los productos agrícolas, ganaderos, forestales y el turismo.

Introducción

Actualmente existen muy pocas dudas, en cuanto a la existencia del cambio climático global y a la necesidad de estudios vinculados a mitigar sus consecuencias. Asimismo, cada vez se conoce mejor la cadena de transformaciones vinculadas al cambio climático que afectan a diversos ecosistemas locales y a las poblaciones que se encuentran en condiciones de vulnerabilidad.

Los sistemas de información y alerta temprana están orientados a conocer la variabilidad climática, planificar la gestión de riesgos, promover estrategias de adaptación y/o mitigación a los efectos del cambio climático y constituyen instrumentos claves para lograr una estrategia integral de reducción de la vulnerabilidad de la población ante los impactos causados por posibles eventos. Elaborar un sistema de información, se constituye en un soporte esencial para la toma de decisiones ya que permite cuantificar, explicar, proyectar escenarios futuros y actuar en función de los eventos.

Es importante destacar, que los sistemas de información existentes a nivel nacional no permiten muchas veces, difundir una información útil a nivel local. Teniendo en cuenta además, que la problemática del cambio climático está poco considerada en dichos sistemas. Asimismo aun existiendo sistemas de alerta temprana, a nivel local, la mayoría corresponde a fenómenos que surgen en forma imprevista y están poco adaptados a la problemática del cambio climático, cuyos efectos son graduales y paulatinos.

En este contexto, el cambio climático debe ser abordado desde el enfoque de gestión de riesgos que puede ser definido como el proceso planificado, concertado, participativo e integral de reducción de las condiciones de riesgo de desastres en la búsqueda del desarrollo sostenible, Damman, Grégory (Ed)[9] 2008.

En este marco los objetivos propuestos para desarrollar un programa de Evaluación y Alerta Temprana son:

- Desarrollar un Sistema de Información (continua) y de Alerta Temprana (SIA), para las poblaciones aledañas a humedales amenazados por el Cambio Climático. Elaborando indicadores sobre: clima, hidrología, pronósticos para mitigar los efectos de las sequías e inundaciones en los ecosistemas.
- Elaborar indicadores de sostenibilidad de las comunidades y de las actividades económicas desarrolladas alrededor de humedales de agua dulce frente al CCG.

Cuando nos referimos a humedales se describe a una amplia variedad de hábitats interiores, costeros y marinos que comparten ciertas características. Generalmente se los identifica como áreas que se inundan temporariamente, donde la napa freática aflora en la superficie o en suelos de baja permeabilidad cubiertos por agua poco profunda. Todos los humedales comparten una propiedad primordial: el agua juega un rol fundamental en el ecosistema, en la determinación de la estructura y las funciones ecológicas del humedal.

Esta predominancia del agua determina que los humedales tengan características diferentes de los ecosistemas terrestres, una de ellas es que suelen presentar una gran variabilidad tanto en el tiempo como en el espacio. Esto tiene efectos muy importantes sobre la diversidad biológica que habita en los humedales que debe desarrollar adaptaciones para sobrevivir a estos cambios que pueden llegar a ser muy extremos, por ejemplo, ciclos hidrológicos de gran amplitud

8 http://www.deyc-corrientes.gov.ar/Ctescif08.pdf

9 Damman, Grégory (Ed)Sistemas de información y alerta temprana para enfrentar al cambio climático /. Colaboradores: Pedro Ferradas, Alcides Vilela. Revisión: Carlos Frías. Lima Perú: Soluciones Prácticas-ITDG; 2008 166 p.

con períodos de gran sequía y períodos de gran inundación.

La Convención sobre los Humedales RAMSAR[10] establece entre otras características relevantes de los humedales que:

- Los humedales prestan servicios ecológicos fundamentales y son reguladores de los regímenes hídricos, así como fuentes de biodiversidad a todos los niveles -especies, genético y ecosistema.
- Los humedales constituyen un recurso de gran valor económico, científico, cultural y recreativo para la comunidad.
- Los humedales desempeñan un papel esencial en la adaptación al cambio climático y en la atenuación de sus efectos.
- La progresiva invasión y pérdida de humedales causa daños ambientales graves y a veces irreparables a la prestación de servicios de los ecosistemas.
- Los humedales deberían restaurarse y rehabilitarse siempre que sea posible.

Como Proyecto Piloto se propones realizar los estudios en los Esteros del Iberá[11] y sus poblaciones aledañas.

Los Esteros del Ibera están localizados en los: 27º30' - 29º00' S y 56º30' - 59º00' W; entre los ríos Paraná y Uruguay, de la Provincia de Corrientes situada en un área de contacto con Paraguay, Brasil y Uruguay y formando parte del Corredor Bioceánico del MERCOSUR. (Figura 1).

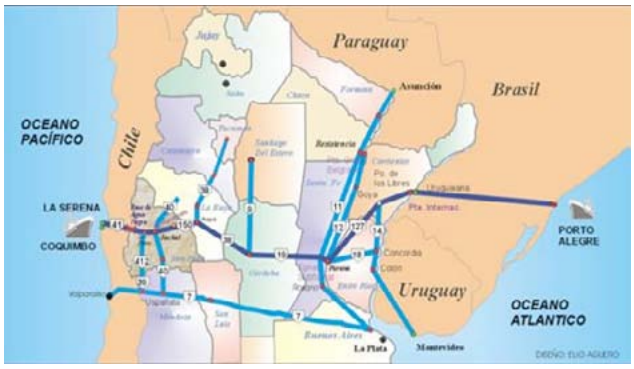


Figura 1: Corredor Bioceánico del MERCOSUR. Fuente: Corredor Bioceánico del MERCOSUR, Grupo Torcello, 2009.

Formando un vasto conjunto de lagunas poco profundas (hasta 5 m.) de agua dulce, los Esteros del Iberá poseen una abundante vegetación flotante denominada embalsados, ríos y arroyos de caudal lento y bosque fluvial asociado, terrenos y praderas inundadas estacionalmente. Entre las lagunas principales cabe mencionar las Lagunas: Tigre, Luna, Galarza, Paraná, Iberá (declarada sitio Ramsar el 18 de Enero del 2002) y Fernández. De los 1.3 millones de hectáreas que ocupan los Esteros, 57.000 hectáreas pertenecen a la provincia y 1.143.000 hectáreas son de propiedad privada.

El ecosistema del Iberá pertenece al denominado Chaco Húmedo, ecoregión localizada en el nordeste de Argentina, en el centro de Paraguay y en pequeñas áreas en el sudoeste de Brasil. Es clasificado por Dinerstein et al. (1995) como vulnerable. Este tipo de humedal se encuentra solamente en la Provincia de Corrientes y en los departamentos vecinos de la zona sudeste del Paraguay (En los Esteros de Ñeembucu, Ramsar, 2002)[12] . Sin embargo el área cercana a las lagunas del Iberá según Ramsar tiene notables elementos de la ecoregión espinal de la Pampa, que se refleja en su vegetación arbórea, ñandubay (Prosopis ñandubay), algarrobillo (P. alfarrobilla) y arbustos terrestres (espinillos) (Acacia caven). (Figura 2).

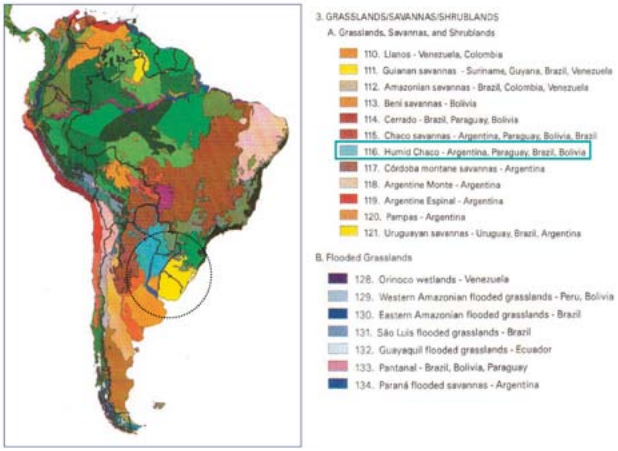


Figura 2: Ecoregiones de América Latina. Fuente: A Conservation Assessment of the Terrestrial Ecoregions of Latin America and the Caribbean, World Wildlife Fund, The World Bank Washington D. C., 1995.

10 RAMSAR. Convención sobre humedales.2008. www.ramsar.org/about/about_brochure_2008_s.htm

11 USAL/VRID/IMAE. Proyecto INCO-DC (Nro. ERBIC18CT980262) Manejo sostenible de los recursos de humedales en el Mercosur. Comunidad Económica Europea. Coordinación General: Universidad de Siena, Italia.

12 USAL/VRID/IMAE. Proyecto Informe Final: Regional aspects of the sustainable management of wetland resources (REGWET) [Aspectos Regionales del Manejo Sustentable de los Recursos de un Humedal - REGWET] INCO A4 DEV ICFP 599A4AM01. Comisión Europea, Coordinación general: Universidad de Siena, Italia.

Figura 3: Ubicación geográfica de los Esteros del Ibera, Provincia de Corrientes. Fuente: Elaboración propia.

Como la mayoría de los humedales se caracteriza desde el punto de vista ecológico: por las frágil estabilidad de sus ecosistemas, la alta calidad de agua, su rica biodiversidad Posee especies únicas vinculadas a las tradiciones y cultura de la población local (algunos ejemplos: ciervo de los pantanos: turismo/caza deportiva/especie amenazada, venado de las pampas: turismo/especie en peligro, carpincho: turismo/carne/cuero/grasa). Los humedales ofrecen una serie de servicios entre otros: navegación y medio de transporte, recreación y turismo, pesca y caza, producción de alimentos, contenedor y sustento de la productividad biológica, ambientes para la cría y engorde de ganado y para algunas formas de agricultura, riego, fuente de vida para la biodiversidad a nivel local y regional, y como asiento de organismos migratorios, atenuador de las inundaciones catastróficas y moderadores del microclima local.

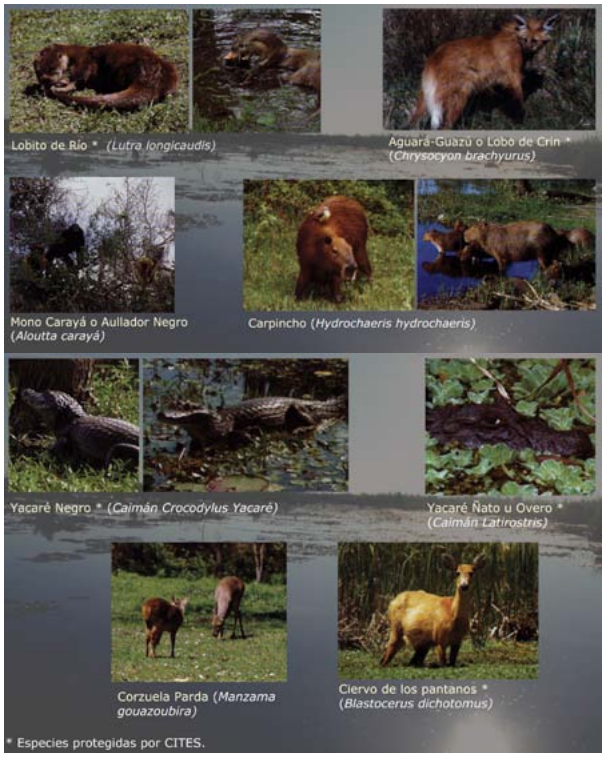


Figura 4: Algunas especies características del Iberá. Fuente: Fotos Fabio Brogi, 1999.

Condiciones de vulnerabilidad de los Esteros del Ibera al Cambio Climático Global

La Provincia de Corrientes se sitúa en una zona cuyo clima de clasifica como Subtropical Húmedo de Llanura o Subtropical sin estación seca. Un trabajo reciente de la CEPAL, 2009[13] , analizando factores condicionantes de la vulnerabilidad ante el cambio climático, destaca que los mayores impactos serán en la región intertropical de America Latina y el Caribe y en las zonas andinas. En un informe del Banco Mundial elaborado por Augusto de la Torre, Pablo Fajnzylber y John Nash, 2009[14] se destaca que el Nordeste Argentino incluyendo los Esteros del Iberá son los que actualmente están sufriendo los impactos más importantes del CCG.

Según información del Servicio Metereológico Nacional Argentina[15] las isohietas (líneas de mismo nivel de precipitaciones) se han corrido en los últimos años hacia el este del territorio argentino. Una interpretación es el efecto a distancia ejercido por El Niño, también llamado "Teleconexión" que puede producir un aumento de las precipitaciones durante la primavera, previa a la culminación del proceso, en una extensa región del Litoral centrada aproximadamente en la provincia de Corrientes. Durante pleno verano los indicios sobre efectos locales no son muy claros, pero si El Niño se prolonga varios meses más, también suelen producirse mayores precipitaciones que las normales en la misma región durante los meses de abril y mayo. En cambio en el Noroeste argentino el fenómeno de El Niño está asociado a una fuerte reducción de las lluvias de verano.

A pesar de ello, la razón del aumento del nivel del agua en los esteros no es clara. Existen investigadores que sostienen que "los datos están mostrando un incremento significativo en los niveles de agua, que produjo un claro cambio en los regímenes hídricos del sistema Iberá, y que podría ser explicado por el nivel de agua en la represa"[16] de Yacyretá, ya que no puede ser explicada sólo por el aumento de las lluvias. Pero la realidad es que se está lejos aún de poder probar una

13 CEPAL. Cambio Climático y Desarrollo en América Latina y el Caribe. Coordinador: José Luis Samniego. 2009.

14 Banco Mundial. Desarrollo con Menos Carbono. Respuestas Latinoamericanas al DesafÍo del Cambio ClimÁtico Autores: Augusto de la Torre, Pablo Fajnzylber y John Nash. En: Estudios del Banco Mundial sobre América Latina y el Caribe, 2009-03-12.

15 Servicio Meteorológico Nacional, Fuerza Aérea Argentina.

16 Canziani, Graciela Ana. Informe de Actividades: Segundo año, The Sustainable Management of Wetland Resources in MERCOSUR, Proyecto INCO DC EC Contract Number Erb Ic18 - Ct98–0262, Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires, 2000.

u otra teoría.

Lo realmente importante es que el "incremento del nivel del agua se aprecia gracias a las evidencias que quedan sobre el terreno, como por ejemplo la inundación de aproximadamente 300.000 ha de tierras ganaderas y forestales en el entorno de los esteros del Iberá"[17] . Estas tierras se han perdido para actividades productivas, son críticas para la zona. Además, si consideramos que el 90% de esta superficie constituyen tierras privadas, las pérdidas terminan afectando sustancialmente la economía regional.

Un aspecto singularmente importante desde el punto de vista de la vulnerabilidad de este ecosistema es la modificación del nivel hidrométrico. Los cambios en el nivel del agua general en los esteros se evidenciaron durante los estudios del Proyecto INCO-DC "Manejo Sustentable de los Recursos de Humedal en el MERCOSUR "[18] (1998-2001). Tanto "el descenso artificial del nivel actual mediante canales (como podrían ser las obras hidráulicas en el río Corrientes o los canales de desagüe que modifican los tiempos de permanencia del agua en el sistema) y la elevación artificial del agua, que ocurriría como consecuencia de la construcción del embalse de Yacyretá"[19] , es importante destacar que estas variaciones hidrológicas pueden generar impactos significativos que alteren las dinámicas de este ecosistema. Esto último es especialmente preocupante si a la incertidumbre propia de la situación actual, le sumáramos las que aporta el Cambio Climático Global como el aumento de la frecuencia de fenómenos como "El Niño" en la región.

La relación entre los Esteros del Iberá y el Acuífero Guaraní

Los Esteros del Iberá conforman un sistema hidrológico complejo, con variables conocidas y otras desconocidas y pendientes de investigación. Un ejemplo de ello, es el postulado de que este ecosistema constituye una de las principales zonas de recarga del Acuífero Guaraní.

El SAG es uno de los más grandes del mundo ya que abarca cerca de 1,2 millones de km2 en el sudeste de América del Sur. Las reservas permanentes del sistema en Brasil, por ejemplo, alcanzan, según un cálculo conservador, a cerca de 48.000 km3 con una recarga anual de 160 km3. Si se extrajeran aguas subterráneas por cerca del 20% de los índices anuales de recarga actuales, esto sería suficiente para abastecer con 300 litros por día per cápita a 360 millones de habitantes. Argentina, Brasil, Paraguay y Uruguay están trabajando juntos elaborando un plan integrado para proteger y gestionar "sosteniblemente" el sistema en virtud de un proyecto financiado por el Fondo para el Medio Ambiente (GEF) y el Banco Mundial: el Proyecto de Protección Ambiental y Desarrollo Sostenible del Sistema Acuífero Guaraní[20] , lanzado en mayo de 2003 en Montevideo, en donde participan también la OEA y organismos internacionales.

Según M. Auge, 2009[21] la concentración del flujo subterráneo dentro de la equipotencial de 50 m en la Provincia de Corrientes – Argentina, configura un ámbito de descarga regional del Acuífero Guaraní, caracterizado por la abundancia de agua superficial en los Esteros del Iberá. La recarga por lluvia se estima en 150 km3/año.

Se espera que el cambio del clima exacerbe los impactos en el ciclo del agua los cuales incluyen cambios en patrones de la precipitación y flujos de los ríos, fluctuaciones acentuadas del nivel de los lagos acontecimientos y acontecimientos más extremos tales como inundaciones intensas y sequías más largas. Esto hace necesario un seguimiento cercano del impacto sobre las poblaciones aledañas a los sitios de recarga de los acuíferos y su impacto sobre los recursos.

Calidad de vida en las zonas aledañas a los Esteros del Iberá

Si bien el cambio climático es una amenaza global, lamentablemente se constituye en un problema más, para el desarrollo de las zonas más pobres de nuestro país y del mundo[22] (OECD, 2003).

Existe claramente una menor capacidad de adaptación al cambio climático, cuando la ubicación de las poblaciones se realiza en áreas geográficas vulnerables y exiguas condiciones socioeconómicas, asociadas a debilidades político –institucionales. En consecuencia es previsible que la mayoría de las poblaciones vulnerables, sean las que sufran los efectos nocivos más grandes.

El cambio del clima se constituye en una amenaza adicional

17 Fundación Vida Silvestre Argentina. "La situación ambiental argentina 2005"; Buenos Aires, 2006.

18 Manejo Sustentable de los Recursos de Humedal en el MERCOSUR" Proyecto INCO-DC ERBIC18CT980262. (1998-2001).

19 La situación ambiental de la Argentina. Ecoregion los Estreos del Iberá, 2005.

20 Instituto Nacional del Agua-INA- El proyecto sistema Acuífero Guaraní MERCOSUR. Unión también de la geología y el agua. Coordinador J. N. Santa Cruz. http://www.ina.gov.ar/internas/guarani.htm.

21 M. Auge. Acuífero Guaraní. On line: http://www.gl.fcen.uba.ar/investigacion/grupos/hidrogeologia/hidrogeologia/Guarani.htm.

22 OECD- Poverty and Climate Change. Reducing the Vulnerability of the Poor through Adaptation, 2003 http://www.oecd.org/dataoecd/60/27/2502872.pdf

esto es, refuerza o agrega riesgos existentes Además, la degradación del medio ambiente va íntimamente ligada con la generación de pobreza. Un estudio realizado por la Organización de Naciones Unidas, el Banco Mundial y el World Resources Institute[23] , pone de manifiesto la capital importancia que tiene la naturaleza para más de 1000 millones de personas que viven en la extrema pobreza. El estudio señala que alrededor del 44% de la población mundial depende directamente del trabajo en los ecosistemas a través de la agricultura, la pesca y la silvicultura.

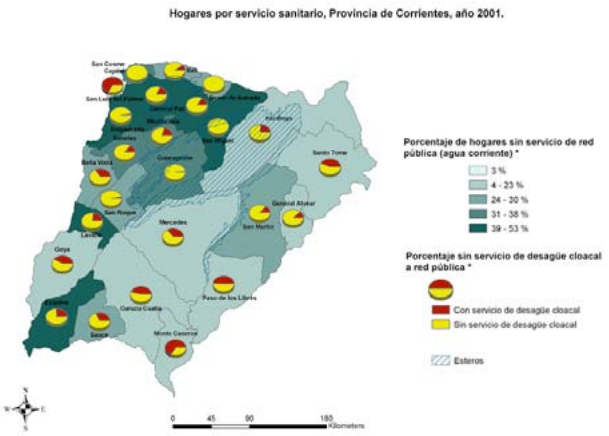


Figura 5: Hogares por servicio sanitario, Provincia de Corrientes, 2001. Fuente: Elaboración propia

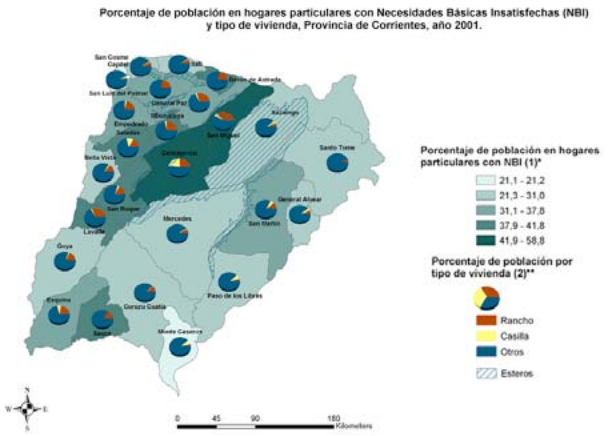


Figura 6: Porcentaje de población en hogares particulares con Necesidades Básicas Insatisfechas (NBI) y tipo de vivienda, Provincia de Corrientes, 2001. Fuente: Elaboración propia

Recursos, actividades económicas y amenazas

La provincia de Corrientes es por definición productora de bienes del sector primario, y particularmente de productos agrícolas, ganaderos y forestales. En la zona de los Esteros del Iberá esto se ve representado por pocos productos, pero que representan junto con la actividad turística el sustento de toda la región. La ganadería, el turismo, la producción de arroz y madera, las principales actividades del área, son potencialmente afectadas por los cambios en los niveles medios del agua y de aquí la extensión de los humedales.

Pero mientras que la ganadería y los sectores de turismo en si mismos no tienen impactos en los niveles medios del agua, tanto el arroz como (potencialmente) la producción de madera, han mostrado tener efectos hidrológicos. Esto significa que los cambios en el nivel de actividades en estos últimos dos sectores pueden afectar potencialmente la cría de ganado y a el turismo. (Neiff, 2004).

Corrientes es la segunda provincia productora de arroz. En particular, la producción de arroz en la campaña 2005/2006 ha duplicado a la de 1994/1995, prácticamente recuperando los valores de fines de los años 90. Actualmente (2009) existen 10 arroceras en los Esteros del Iberá que estén construidas dentro de la Reserva Provincial Ibera y que se hallan ubicadas en la Cuenca del Río Corrientes y el borde de las lagunas Fernandez, Trim e Iberá. Este tipo de cultivo (J. J. Neiff, 2004)[24] .es considerado una actividad de alto impacto ya que causa entre otras cosas la modificación del paisaje, la alteración de los patrones de vegetación natural, la inundación del suelo, la roturación periódica de la tierra, la extracción de agua de las lagunas para el cultivo y la incorporación de agroquímicos a los esteros y las lagunas por efecto de las lluvias. Quizás el impacto ambiental más importante corresponde a la alteración del régimen hídrico de las lagunas causada por la extracción de agua para mantener los niveles necesarios para los cultivos.

Otra actividad de gran importancia socioeconómica en la zona de los Esteros del Iberá es el turismo. Esta actividad se encuentra directamente dirigida a la apreciación de la naturaleza y de los recursos que ésta ofrece en términos de biodiversidad de flora y de fauna. En 2002 la capacidad total de alojamiento turístico de Corrientes era próxima a 2.400 camas, distribuidas en 925 habitaciones y hoy en día (2009) es de 14.200 habitaciones.

23 *Instituto de Recursos Mundiales, PNUD, PNUMA, BM, Guía Recursos Mundiales 2006. La Riqueza del Pobre. 2006.*

24 *Neiff, Juan José. El Iberá...¿en peligro? - 1ª ed. - Buenos Aires: Fundación Vida Silvestre, Argentina, 2004.*

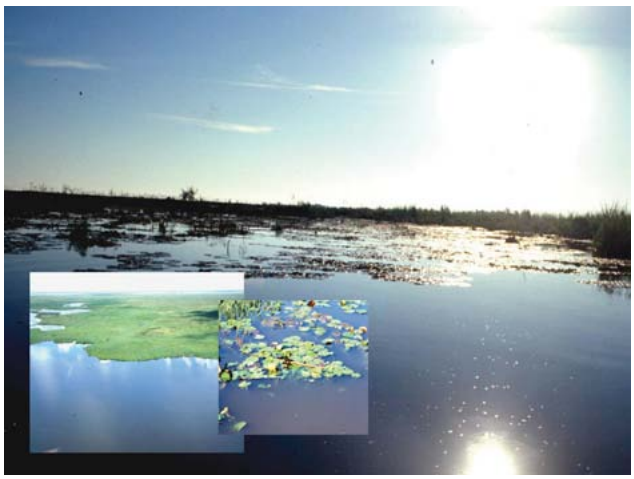


Figura 7: Esteros del Iberá, Provincia de Corrientes, Argentina. Fuente: Fotos Fabio Brogi, 1999.

Indicadores de vulnerabilidad

Los indicadores son una guía crucial para la toma de decisiones y son herramientas importantes para comunicar ideas, pensamientos y valores.

El sistema de alerta temprana permite prevenir daños económicos, sociales y ambientales.

Los indicadores específicos económicos, sociales y ambientales son necesarios para poder conocer diferentes situaciones de vulnerabilidad.

Los indicadores necesitan ser comprensibles, multidimensionales, prácticos, y deben valer para detectar diferencias regionales y de escala.

El nivel de vulnerabilidad al cambio climático se explica en función del análisis de las dimensiones de la sostenibilidad. La accesibilidad de la comunidad a la comunicación y a la información sobre los efectos del CCG determina su posibilidad de adaptación.

Desde este enfoque propone la elaboración y seguimiento de indicadores de:

- Parámetros hidrológicos, hidrométricos y metereológicos.
- Esto se realizará mediante el monitoreo de parámetros a través de las estaciones hidrológicas y meteorológicas automatizadas, disponibles en los esteros del Iberá Obtención de indicadores de la calidad hídrica, variación hidrométrica y metereológicos del hábitat (OD, turbidez, PH, temperatura, y conductividad), meteorológicos (temperatura del aire y del suelo, velocidad del viento y lluvia, humedad relativa, humedad de las hojas, presión atmosférica, radiación global (PAR, UV), e hidrométricas.
- Impacto del cambio climático sobre la calidad de vida. Uso de estadísticas oficiales (Censos Nacionales y Provinciales). Parámetros: dinámica demográfica, familia y hogares, vivienda, saneamiento, salud y educación.
- Impacto económico del CCG climático sobre los productos agrícolas, ganaderos, forestales y el turismo. Uso de estadísticas oficiales (Censos Nacionales y Provinciales.

Con la utilización de:

- El análisis de imágenes satelitales para examinar las modificaciones estacionarias y a largo plazo en la calidad hídrica de los humedales, el uso de la tierra, la calidad del hábitat y la hidrología.
- La elaboración de mapas temáticos utilizando un Sistema de Información Geográfica (SIG).

Propuesta de un abordaje integrado de los perfiles de vulnerabilidad al cambio climático

En la Figura 8 se sistematiza la propuesta de un abordaje integral de las dimensiones de sustentabilidad para desarrollar el Sistema de Información de Alerta Temprana.

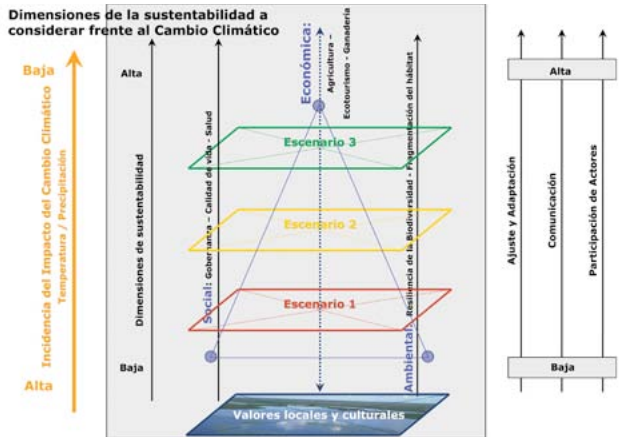


Figura 8: Dimensiones de la sustentabilidad a considerar frente al Cambio Climático. Fuente: Elaboración propia

En la Figura 9 se describe los principales indicadores propuestos para desarrollar en el programa.

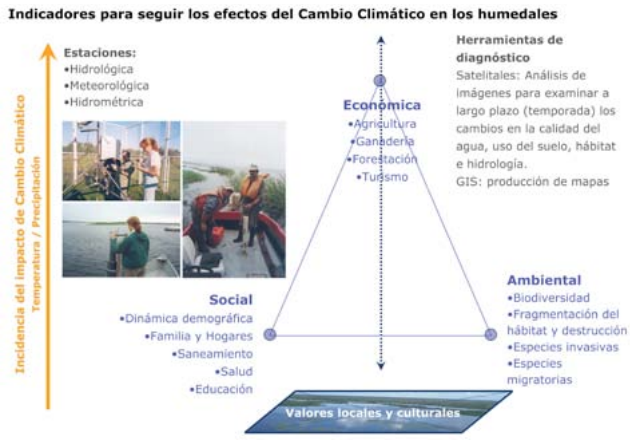


Figura 9: Indicadores para seguir los efectos del Cambio Climático en los humedales.

Es importante tener en cuenta la componente cultural en los Esteros del Iberá.

El Iberá no es sólo un ámbito natural casi intacto sino que además constituye una fuente inagotable de expresiones culturales tan variadas como la imaginería, las artesanías, el santoral popular, los mitos y leyendas, el idioma, las canciones, las construcciones, la alimentación, un conjunto de manifestaciones que, sumadas a valores morales y éticos tales como el respeto al medio ambiente y la continuidad familiar, conforman una identidad propia netamente identificable.

Figura 10: La componente cultural en los Esteros del Iberá. Fuente: Elaboración propia.

Necesidad de Indicadores de Cambio Climático en America Latina

El informe presentado por FFL, IDRC y DFID[25] 2008, realizado en Quito – Ecuador concluyó:

- Considerando la contribución mínima de ALyC a las emisiones globales de Gases de Efecto Invernadero (GEI) (World Bank, 2004) (Figura 11), los impactos sobre la pobreza son de una gran prioridad.

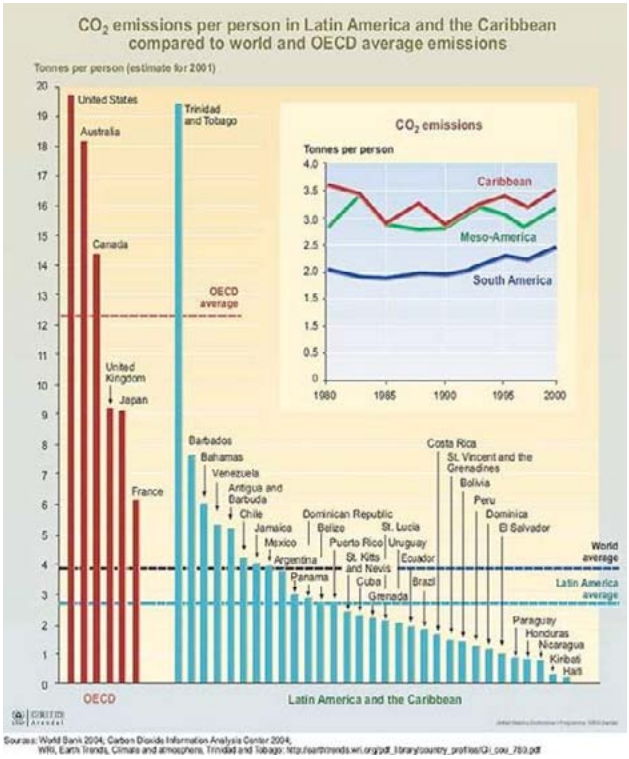


Figura 11: Emisiones de CO2 en America Latina y el Caribe. Fuente: elaboración propia.

Hay una necesidad de:

- Estimar el potencial impacto económico del cambio climático y los costos asociados a las opciones de adaptación.
- Bajar a escala los escenarios del cambio climático, diseñar e implementar sistemas de alerta temprana para comunidades y poblaciones vulnerables.
- Elaborar mapas integrados de vulnerabilidad económica, social y ambiental para lograr comparaciones entre países y regiones con una mejor calidad y cantidad de datos sobre clima, suelo y agua, demografía, e impactos económicos.
- Considerar como prioritaria la investigación en el CCG en agricultura, salud, pesca, turismo y zonas urbanas.
- Identificar para America Latina y el Caribe los problemas de seguridad alimentaria, manejo del agua, resiliencia de los ecosistemas y gobernanza.
- Finalmente se necesita un nuevo abordaje metodológico para la investigación en ALyC sobre los efectos del CCG. Particularmente se necesita mas especialistas en el área de economía pensando que en Argentina sólo 2 de 26 millones de hectáreas de tierra cultivables están cubiertas por seguros. Principalmente debido a la restricción presupuestaria.

Conclusiones

El Cambio Climático es una amenaza global presente en el Noroeste Argentino y comprende los Esteros del Iberá.

---

25 Fundación Futuro Latinoamericano-FFL, International DevelopmentResearch Center –IDRC., Department for International Development of the United Kingdom (DFID)- Climate change and poverty in Latin America and the Caribbean- October, 2008 Quito, Ecuador. http://www.ffla.net/images/stories/PDFS/PUBLICACIONES/CCLAC_REPORT.pdf.

Una baja capacidad de adaptación es asociada con áreas geográficamente vulnerables y condiciones socioeconómicas críticas, en consecuencia, es previsible que la mayoría de los asentamientos vulnerables asentados en las zonas aledañas a los Esteros del Ibera sean los que sufran los mayores efectos. Estadísticas del 2003 muestran que Corrientes es una de las provincias más pobres del Noreste Argentino.

El Cambio Climático refuerza y agrega riesgos a los ya existentes. El medio ambiente está estrechamente vinculado con la pobreza. Un estudio señala que el 44% de la población mundial depende de los servicios de los ecosistemas a través de la agricultura, pesca y silvicultura que son los que se desarrollan particularmente en los Esteros del Iberá.

Es necesario establecer un sistema de Evaluación y Alerta Temprana que permita medir y diagnosticar los efectos de inundaciones y sequías y hacerlos mas previsibles, ayudan a reducir la incertidumbre y aumentar la capacidad de la sociedad para adaptarse y/o mitigar los riesgos que éstas involucran.

HIDROQUIMICA DEL ACUIFERO PAMPA DE LA COMPAÑÍA, DEPARTAMENTO MAGALLANES, PROVINCIA DE SANTA CRUZ, ARGENTINA

Carla Araceli Moscardi (1)
Blanca Rosa Pereyra Ginestar (1)
(1) Unidad Académica San Julián, Universidad Nacional de la Patagonia Austral. Colón y Sargento Cabral, Puerto San Julián, Santa Cruz (54) 02962 452319. E-mail: carlamoscardi@yahoo.com.ar - brancasan2003@yahoo.com.ar,

Palabras Clave
- Hidroquímica
- Pampa de la Compañía
- Santa Cruz

Resumen
Este Trabajo Tiene Por Objetivo Tipificar La Hidroquímica De La Región De "Pampa De La Compañía" Situada A Veintisiete Kilómetros Al Oeste De La Localidad Que Abastece Puerto San Julián, Cabecera Del Departamento Magallanes, En La Región Centro – Este De La Provincia De Santa Cruz. Pampa De La Compañía, Zona De Recarga Del Acuífero, Presenta Un Relieve Mesetiforme Que Se Eleva A Doscientos Ochenta Metros Sobre El Nivel Del Mar, Limita Al Sur Con El Bajo San Julián, Depresión Profunda A Ciento Cinco Metros Bajo El Nivel Del Mar; Al Noroeste, Con El Bajo John, En Tanto Que Al Este Y Noreste Con Los Cañadones Sam, Paraguay, De La Compañía Y De Los Artilleros. El Manto De Gravas Y Arenas Que Cubren Esta Superficie Mesetiforme, La De Mayor Desarrollo Areal De La Comarca, Tiene Una Suave Pendiente Al Este Y Noreste. La Metodología Utilizada Consistió En La Recopilación De Datos Hidroquímicos E Hidrogeológicos De La Zona, La Exploración Y Georeferenciación De Los Pozos De Explotación, El Procesamiento De La Información Recopilada Y La Obtención De Resultados Y Conclusiones. La Hidroquímica Del Sitio De Estudio Indica Que El Agua Proveniente De Los Pozos Se Puede Caracterizar Como Del Tipo Bicarbonatada Mixta, Bicarbonatada Sódica-Cálcica, Clorurada-Sódica Y Bicarbonatada Sódica.

Para La Zona De Descarga Del Acuífero, La Caracterización Es Clorurada-Sódica Con Tenores Salinos Superiores A La Zona De Recarga. El Presente Estudio Forma Parte Del Proyecto Trianual "Caracterización De La Línea De Base Ambiental Con La Aplicación De Herramientas Geomáticas Sig Para El Departamento Magallanes, Santa Cruz, Argentina" Que Se Lleva A Cabo En La Unidad Académica San Julián Financiado Por La Universidad Nacional De La Patagonia Austral.

Introducción

La zona de Pampa de la Compañía se encuentra ubicada a 27 km de la localidad de Puerto San Julián y se accede por la Ruta Provincial Nº 25, hacia el oeste en dirección a la localidad de Gobernador Gregores, desde la Ruta Nacional Nº 3.

Esta región bajo estudio es la zona de recarga del acuífero que abastece a Puerto San Julián, cabecera del departamento Magallanes en la región centro – este de la provincia de Santa Cruz (Figura 1).

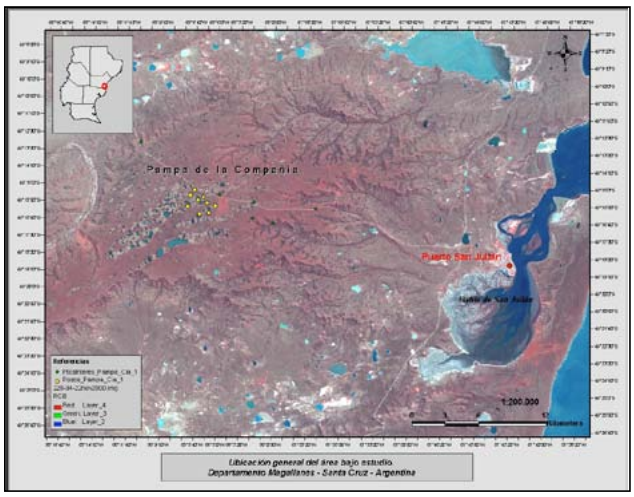


Figura 1. Ubicación general del área de estudio.

La región se caracteriza por un clima, templado frío – seco de estepa, con precipitaciones que no superan los 200 mm totales anuales, lo cual condiciona la existencia de cuerpos de agua superficial permanentes. Durante el Cuaternario alto, predominó la acción fluvial como modeladora del paisaje, no obstante, en la actualidad, no es muy intensa, siendo la acción eólica la dominante.

Durante la década del ochenta, se realizaron exploraciones hidrogeológicas (CFI,1988, 1989) culminando en el año 1991, con la construcción de una batería de bombeo en la zona, denominada Batería I. Posteriormente en el año 2004, se

construyó la segunda batería y en el año 2007, se inauguró el acueducto proveniente del río Santa Cruz. En la actualidad se utilizan ambas fuentes de aprovisionamiento de agua para la localidad de Puerto San Julián.

Este trabajo tiene por objetivo caracterizar la tipología hidroquímica del agua subterránea de Pampa de la Compañía y las formaciones geológicas que la contienen.

Así mismo, esta información contribuye a la caracterización de la linea de base ambiental del departamento Magallanes de la provincia de Santa Cruz, objetivo final del proyecto de investigación en el cual se enmarca el presente trabajo.

Metodología

La metodología utilizada consistió en la recopilación de la información ambiental: hidrológica, geológica, geomorfologica, climática disponible de la zona complementando con las observaciones y el relevamiento de datos a campo.
En abril de 2009, se realizó una campaña a la región de estudio para georreferenciar y constatar la actividad de los pozos de explotación existentes, con sus caudales actuales (Tabla 1).

Se tomaron los datos físicos y químicos históricos de los pozos de bombeo relevados (CFI, 1989). Se adoptó la metodología de interpretación de análisis que proponen los especialistas de la Comisión Docente Curso Internacional de Hidrología Subterránea (FCIHS, 2009). Para el procesamiento de la información y la representación gráfica de los datos, se utilizó el programa EASY_QUIM.4 (Vázquez Suñé, 2001).

La representación cartográfica se realizó con el paquete informático Arc-Gis 9.3 (ESRI) utilizando información oficial de los organismos provinciales de catastro y vialidad, imágenes satelitales LANDSAT y puntos georreferenciados en el campo.

Pozo	Latitud	Longitud	Profundidad (m)	Cota (m)
PB_1	S 49° 15´ 34.6´´	W 68° 06´ 03.3´´	80,22	285,51
PB_3	S 49° 15´ 15.8´´	W 68° 06´ 42.3´´	78,60	287,54
PB_4	S 49° 15´ 44.6´´	W 68° 06´ 25.5´´	47,40	286,59
PB_5	S 49° 16´ 02.5´´	W 68° 07´ 12.8´´	44,00	288,82
PB_6	S 49° 15´ 52.1´´	W 68° 05´ 47.6´´	42,70	292,58
PB_7	S 49° 16´ 25.2´´	W 68° 06´ 19.4´´	45,00	291,18
PB_8	S 49° 16´ 21.8´´	W 68° 05´ 37.0´´	44,75	292,45
PB_9	S 49° 16´ 00.3´´	W 68° 05´ 10.0´´	45,00	291,82
PB_{10}	S 49° 15´ 30.3´´	W 68° 07´ 00.1´´	44,00	288,17
M 14	S 49° 17´ 45,9´´	W 67° 44´ 43,6´´	S/D	20,00

S/D: Sin Datos

Tabla 1: Ubicación geográfica de los pozos en el área de estudio.

Resultados

Aspectos Climáticos

En la zona de la Meseta Central donde se ubica la zona de interés, domina el clima de tipo templado frío y árido de meseta con precipitaciones medias anuales inferiores a los 200 mm, lo que determina las condiciones de aridez de la misma.

Este tipo climático, es el que acusa mayor expresión areal en la provincia. Se extiende en un amplio sector desde la costa hasta aproximadamente el meridiano de 72º longitud oeste y desde la provincia del Chubut hasta el río Coyle.

De acuerdo a la clasificación de Köppen (Köppen, 1938) esta zona se inserta bajo un régimen climático Seco de Estepa. Las temperaturas medias anuales no superan los 16 ºC y las mínimas correspondientes al mes de julio varían alrededor de los 0 ºC, en los ambientes serranos y de mesetas volcánicas, de alturas variables entre los 200 y 500 metros sobre el nivel del mar y los 3 °C en los sectores de mesetas próximos a la costa, de menor altura (Soto, 2004; Soto y Vázquez, 2001). En invierno, presenta un importante aporte de nieve, producto de las invasiones de aire polar.

Aspectos Geomorfológicos

Desde el punto de vista geomorfológico, predominó en la pampa el proceso fluvial como modelador del paisaje. Sin embargo, actualmente bajo un clima semidesértico, la erosión fluvial no es muy intensa y son importantes los efectos producidos por la erosión eólica y, ocasionalmente, los fenómenos de remoción en masa. La cubierta de rodados está en proceso de remoción de manera que se encuentra un tapiz de rodados y material suelto, formando un talud, que enmascara a las unidades subyacentes.

La región se compone por superficies llanas cubiertas por un delgado manto de gravas y arenas con pendiente regional hacia el este o este-noreste. Se pueden reconocer cuatro niveles de meseta (Panza et al, 1994) de los cuales los más elevados están integrados por remanentes de erosión. Pampa de la Compañía se encuentra en el nivel de meseta II, con altura media de 250 m.s.n.m. y cotas cercanas a los 300 m.

Aspectos hidrográficos e hidrogeológicos

La Pampa de la Compañía, zona de recarga del acuífero, que se eleva a 280 m.s.n.m., presenta un relieve mesetiforme aislado, la recarga es directa, efectiva a partir de las precipitaciones pluviales y de la fusión de las nieves estacionales que se infiltran a través de los suelos esqueléticos. Limita al sur con el Bajo San Julián, la depresión más profunda del continente a 105 m bajo el nivel del mar; al noroeste, con el Bajo John, en tanto que al este y noreste

con los cañadones Sam, Paraguay, de la Compañía y de los Artilleros. Condicionado por el clima seco de estepa, los cursos de la región son de régimen temporario y llevan agua solamente en invierno que es la estación de las lluvias.
Como se observa en la figura 2, la red hidrográfica con diseño dendrítico, está constituida por los cañadones que provienen de la Pampa de la Compañía y desaguan en la Bahía de San Julián. De norte a sur, drenan los cañadones de la Compañía, Paraguay y Sam. El de Los Artilleros lleva sus exiguas agua hacia el norte, al salitral de Cabo Curioso. El desnivel topográfico entre el sector de cabecera y el punto de desagüe es de 200 m, aproximadamente. Sobre la Pampa se observa la presencia de relictos de un antiguo sistema hídrico. Son numerosas las cuencas centrípetas en su mayoría desconectadas entre sí que tienen lagunas temporarias en la zona topográfica de menor cota relativa (Panza et al., 1994).

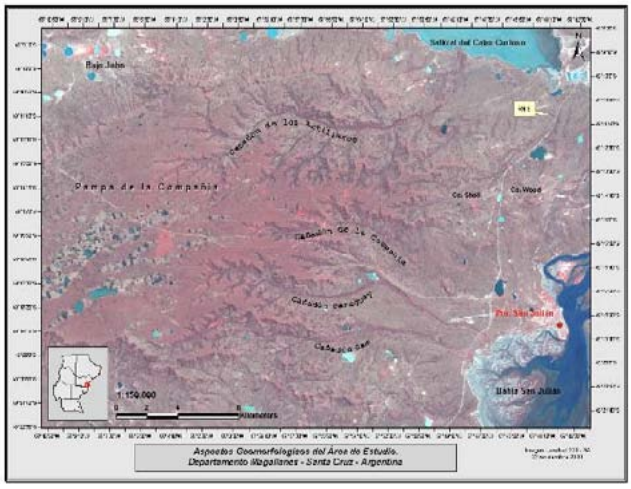


Figura 2. Aspectos Geomorfológicos.

Hidrogeológicamente, el acuífero freático esta compuiestos por gravas con matriz de arena gruesa y limos, cuya potencia puede alcanzar los 10 m (formaciones cuaternarias).
En profundidad, siguen gravas de tamaño menor con matriz arcillosa, pasando a arenas finas, arenas gruesas, capas de conchillas, arcilitas pardas y limos hacia la base que constituyen los acuiferos semiconfinados de edad terciaria superior.

Luego la columna estratigráfica es dominada por arcilitas y limos conformando el complejo acuitardo – acuícludo representado por las sedimentitas del Teciario marino.
Los depósitos jurásicos volcánicos y vulcanoclásticos constituyen la formación acuifuga del sistema (CFI, 1988; Pereyra Ginestar et al, 2009) (Tabla 2).

ERA	PERÍODO	ÉPOCA		UNIDADES GEOLÓGICAS		LITOLOGÍA	COMPORTAMIENTO HIDROGEOLOGICO
CENOZOICO	CUATERNARIO	Holoceno		Depósitos recientes indiferenciados		Arenas, limos, arcillas subordinadas y evaporitas.	Acuífero freático
		Pleistoceno	Sup.	Depósitos lagunares de antiguas playas		Arenas, limos y arcillas.	
			Inf.	Fm Mata Grande / Fm Avenida		Gravas con matriz areno - limosa.	
	TERCIARIO	Plioceno inferior		Fm Pampa de La Compañía		Gravas con matriz arenosa, escasas arenas.	*Acuífero semiconfin*
		Mioceno superior		Fm Cordón Alto		Gravas con escasa matriz arenosa.	
		Mioceno inf. Oligoceno sup.		*Fm Monte León*		*Chonitas, areniscas y coquinas subordinadas.*	Complejo acuitardo – acuícludo
		Oligoceno inf. Eoceno sup.		Fm San Julián		Coquinas y areniscas, pelitas y mantos de carbón.	
MESOZOICO	JURASICO	Malm inf.		Grupo Bahía Laura	Fm La Matilde	Tobas e ignimbritas subordinadas.	Acuífugo

Tabla 2. Formaciones hidrogeológicas de Pampa de la Compañía.

Los suelos poco desarrollados con matriz arenosa gruesa-limosa, entisoles de color rojizo claro, coronan la secuencia compuesta por gravas medianas de porfiritas con poca matriz y en parte, clastos recubiertos por una pelicula calcárea que representa la formación de una calcreta en su estadío intermedio de evolución.

En la zona topográficamente más baja, cerca de San Julián, los espesores de depósitos cuaternarios son reducidos de tal manera que los suelos inmaduros, entisoles, cubren las formaciones marinas terciarias, directamente.

Caracterización hidroquímica

Los parámetros hidroquímicos del agua de los pozos de la bateria I de Pampa de la Compañia y del pozo situado en la zona de descarga del sistema (Molino 14) se detallan en la tabla 3.

ozo	PB1	PB3	PB4	PB5	PB6	PB7	PB8	PB9	PB10	M14
uS/cm	530,00	540,00	647,00	457,00	499,00	388,00	455,00	457,00	679,00	8261,00
pH	7,90	7,00	7,90	7,70	7,80	7,80	8,00	7,80	7,90	8,40
s (mg/l)										
s-	189,00	190,40	164,00	160,00	201,00	172,00	184,00	184,20	164,00	103,00
-	43,00	10,60	24,00	10,10	18,00	8,20	8,60	6,70	63,00	1334,00
	67,00	66,30	93,00	40,50	60,00	33,40	48,00	42,20	110,00	2485,00
	53,00	46,00	96,60	57,70	46,00	62,10	23,00	46,00	111,30	1786,40
	16,00	2,70	3,50	2,30	11,70	2,00	2,30	2,00	4,80	13,60
	79,00	52,30	19,60	28,00	82,60	30,00	88,00	32,40	40,80	180,80
	24,00	8,60	8,70	8,50	24,70	8,50	28,00	10,20	16,00	38,30
	1,20	0,02	0,60	1,50	1,00	0,80	1,00	1,50	0,50	S/D
	0,04	S/D	0,02	0,02	0,04	0,02	0,04	0,04	0,04	S/D
ogía r– eller)	Bicarb. mixta	Bicarb. sódica /cálcica	Clorur sódica	Bicarb sódica	Bicarb. sódica /cálcica	Bicarb sódica	Bicarb. sódica /cálcica	Bicarb. sódica /cálcica	Clorur sódica	Clorur sódica

Tabla 3: Resultados de los Análisis Físico-Químicos.

De la Bateria I, sólo nueve pozos de los diez originales se encuentran operativos y corresponden a PB1, PB3, PB4, PB5, PB6, PB7, PB8, PB9, PB10. Las muestras analizadas provienen del acuifero semiconfinado.

El sitio de descarga del sistema, se sitúa a 20 m.s.n.m., en la zona de chacras de la localidad de Puerto San Julián, sin influencia marina. Se trata del pozo Molino 14 (M14).

De acuerdo a los valores de pH el agua del pozo PB3 es neutra; la que proviene de los pozos PB 5, PB6, PB7 y PB9 es medianamente básica; mientras que PB1, PB4, PB8, PB10 y M14 presentan un agua calificada como moderadamente básica.

Los análisis realizados acusan concentraciones en flúor y arsénico aconsejables y aceptables de acuerdo a los niveles de referencia de la OMS (2006). Por estas carcterísticas hidroquimicas, las mismas tienen aptitud para consumo rural y domiciliario.

La composición química mayoritaria se han representado en el diagrama de Piper (Figura 3), a fin de facilitar la caracterización por tipo de agua.

El análisis del mismo para la zona de recarga del sistema arrojó la siguiente caracterización de las aguas:

- Tipo bicarbonatada mixta la proveniente de PB1.
- Tipo bicarbonatada sódica-cálcica la proveniente de PB3, PB6, PB8 y PB9.
- Tipo clorurada-sódica la correspondiente a PB4 y PB10.
- Tipo bicarbonatada sódica la correspondiente a PB5 y PB7.

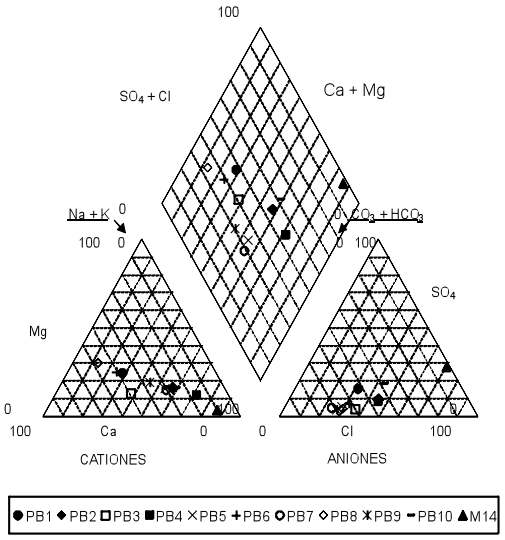


Figura 3. Diagrama de Piper.

En la zona de descarga (M14) el tipo de agua encontrada es clorurada sódica.

Utilizando el diagrama vertical de Schoeller-Berkaloff (Custodio y Llamas, 1976) que se caracteriza por presentar una escala logarítmica en cada uno de los ejes, es especialmente útil en la diferenciar hidroquímicamente la tipología de aguas (Figura 4).

La Figura 5 muestra la ubicación de los pozos de zona de la Pampa de la Compañía con su tipificación hidroquímica.

Comparando la zona de la recarga del acuífero con la zona de descarga del sistema la hidroquímica es francamente distinta. Al comparar los tenores salinos, se comprueba que los pozos que se encuentran en los niveles de meseta más alto (PB8, PB9) poseen menor salinidad, aumentando ésta hacia los niveles topográficos menores, pasando del tipo bicarbonatada a clorurada sódica en zona de chacras.

Los tenores de conductividad de la zona de descarga - M14- son doce veces mayor en relación a los datos encontrados aguas arriba del sistema.

En consecuencia, los resultados indican una mayor concentración de sales. Con respecto a las concentraciones de sodio y de cloruro están en el orden de diez a veinte veces más.

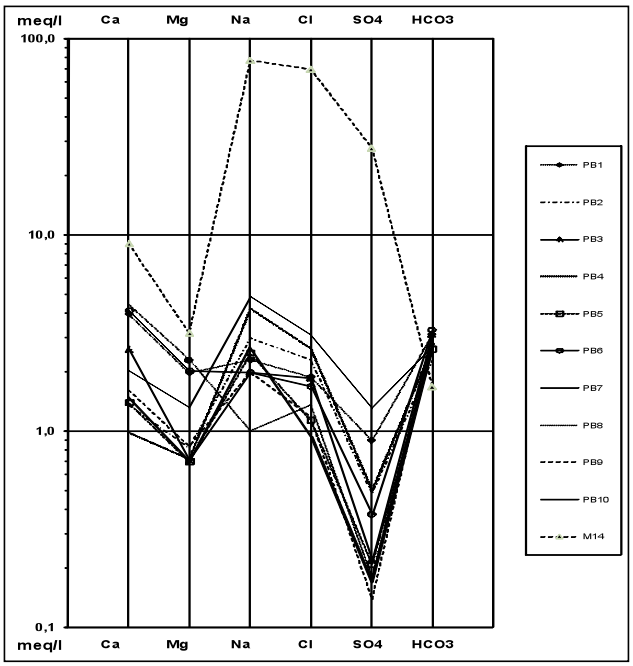


Figura 4. Diagrama de Schoeller-Berkaloff.

Ello es producto de la velocidad de escurrimiento subterráneo baja y de la concentración del flujo, que sumado al escurrimiento superficial desde zonas topograficas altas hacia las bajos, disuelven e incorporan sales provenientes de las formaciones geológicas terciarias que drenan (Pereyra Ginestar op.cit.).

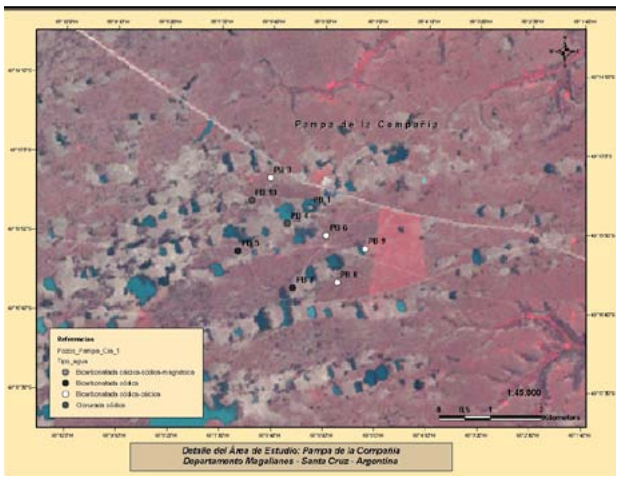


Figura 5. Detalle de la batería por tipo de agua.

Variaciones de caudales

Los caudales productivos obtenidos en el año 1989/90 difieren notablemente a los de la actualidad, que han sido relevados en el marco del proyecto de investigación en el que se enmarca el presente trabajo (Gráfico 1). Los caudales han disminuído entre un 30 y un 70% del de producción inicial.

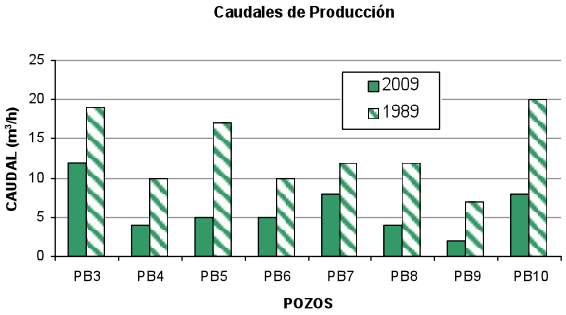


Gráfico 1. Diferencias de caudales.

Tal como se menciona en el trabajo de referencia (CFI, 1989) "...la explotación continuada de todos los pozos durante las 24 horas del día en largos períodos conducirá irremediablemente al deterioro de la fuente con disminución de los caudales individuales de los pozos, creciente salinización del agua bombeada y propagación del área deprimida..."; "... recomendándose una explotación de 18 hrs diarias con un volúmen total de 2000 m3/día". Así mismo, en comunicaión personal con los técnicos responsables de Servicios Públicos Sociedad del Estado de Santa Cruz se transmitió la falta de mantenimiento que han tenido los pozos a lo largo del tiempo. Las posteriores investigaciones se focalizarán en este sentido.

Conclusiones y Recomendaciones

Las condiciones ambientales descriptas y analizadas muestran a Pampa de la Compañía como la zona propicia de explotación de agua subterránea por sus condiciones naturales, así como lo demuestran las investigaciones realizadas en los años 1989 /90 y anteriores.

Los parámetros físico químicos indican una buena calidad para el consumo humano y riego, según la normativa vigente. Composicionalmente se trata de aguas de la familia de tipo bicarbonatada o bicarbonatada –clorurada con concentraciones variables de cationes.

Para el área de descarga del sistema, la caracterización preliminar es clorurada-sódica con tenores salinos superiores y alta conductividad.

Los perfiles muestran suelos de escaso desarrollo (entisoles) dispuestos sobre gravas gruesas a finas con evidencias de calcretas en estadíos intermedios de formación. Se disponen sobre las gravas cuaternarias y en otros sitios directamente sobre las formaciones terciarias marinas, especialmente en la zona baja del sistema.

La administración de la información en un Sistema de Información Geográfica ha permitido lograr una visión integral del sistema de funcionamiento a fin de proyectar acciones futuras hacia la conservación se este recurso natural.

Los datos relevados y el análisis realizado indican la necesidad de profundización del estudio con muestreos sistemáticos y estacionales, los mismos ya están programados en el proyecto de investigación y se concretarán durante el 2010, también se complementará con campañas geoeléctricas.

Este trabajo es el primer resultado alcanzado del proyecto de caracterización de la química de las aguas presentes en el Departamento Magallanes, como un componente físico constituyente del estudio de la línea de base ambiental. Este primer relevamiento servirá como punto de comparación inicial para los futuros trabajos.

Esta publicación se enmarca dentro del proyecto de investigación trianual 29/D025/1 denominado "Caracterización de la línea de base ambiental con la aplicación de herramientas geomáticas SIG para el Departamento Magallanes, Santa Cruz, Argentina" que se desarrolla en la Unidad Académica San Julián y es financiado en su totalidad por la Universidad Nacional de la Patagonia Austral.

Bibliografía

- Consejo Federal de Inversiones - Servicios Públicos Sociedad del Estado, 1989. Provisión de agua en San Julián, Provincia de Santa Cruz. Informe Final. Tomo I.
- Consejo Federal de Inversiones. 1988. Estudio geológico – Geomorfológico del área Pampa de la Compañía – Puerto San Julián. Provincia de Santa Cruz. Informe Final.

- Custodio E y M. Llamas, 1976. Hidrología Subterránea. Hidroquímica: Capítulo 10.3, 1037 – 1041 pp. Editorial Omega, Barcelona.
- FCIHS, 2009. Hidrogeología. Conceptos Básicos de Hidrología Subterránea. Editores: Comisión Docente Curso Internacional de Hidrología Subterránea. Primera Edición. Barcelona. España. 768 pp.
- Köppen, W. 1938. Des geograpischen System der Klimate. En W. Köppen y R. Geiger: Handbuch der Klimatologie, Borhtraeger, Berlín.
- Organización Mundial de la Salud.- OMS. 2006. Guías para la calidad del agua potable [recurso electrónico]: Vol. 1: Recomendaciones. Tercera edición.
- Panza, J. L. y M.V. Irigoyen 1994. Hoja geológica 4969 - IV "Puerto San Julián", provincia de Santa Cruz. Dirección Nacional del Servicio Geológico Sec. Minería. Buenos Aires.
- Pereyra Ginestar, B; V. Muñiz y C. Moscardi. 2009. Identificación y tipificación de las formaciones hidrogeológicas de Pampa la Compañía, departamento Magallanes, provincia de Santa Cruz, Argentina VI Congreso Argentino de Hidrogeología y IV Seminario Hispano-Latinoamerican0 de Temas Actuales de la Hidrología Subterránea. La Pampa.
- Soto, J y M. Vázquez. 2001. El gran libro de la provincia de Santa Cruz. Ed. Oriente - Alfa Centro Literario.
- Soto, J. 2004. Clima. En Guía geográfica interactiva de la provincia de Santa Cruz. Editores: González y Rial. Convenio INTA- Provincia de Santa Cruz- Universidad Nacional de La Patagonia Austral.
- Vázquez Suñé, E. 2001. Departamento de Ingeniería del Terreno de la UPC. Cálculo de los Balances Químicos en análisis de agua y su representación gráfica. Barcelona.

DEVELOPING TECHNOLOGIES FOR SEISMIC EXPLORATION IN POLAR AREAS: CASE HISTORY. ELSA PROJECT

Nieto Yàbar D. (1)
Baradello L. (1)
Picotti S. (1)
Geletti R. (1)

(1) Istituto Nazionale di Oceanografia e di Geofisica Sperimentale – OGS, Borgo Grotta Gigante 42 Sgonico Trieste - Italia

Introduction

The main objective of ELSA project is to verify the applicability of the reflection seismic method for the definition of subglacial lakes on the antarctic icecap. The subglacial lakes are water bodies enclosed between the base of the glacial column and the bedrock. Their existence has been discovered, accidentally, by a series of geophysical surveys started in the 60's. Actually more than 140 subglacial lakes are identified and the largest is Vostok Lake, which lies in East Antarctica under of 4 km of ice (Siegert 1999, Tabacco et Al. 2002). Seismic tests on ice were successfully performed since 70's (Cook 1973).

The first step in ELSA was to optimize a seismic survey system for in antartic environmental, because we need to work at extreme temperatures (<60°). To this aim, we made several tests in a special freezer (Refrigeration Division of Electrolucx Professional srl, Villotta PN - Italy) for the correct operation of the recording system at extreme temperatures.
The site test was the lake Concordia, a small lake 120 km far from the Italian-French base of Dome-C, where we tested:

- the acquisiton parameters based on the theoretical models.
- the data quality using different types of sources.

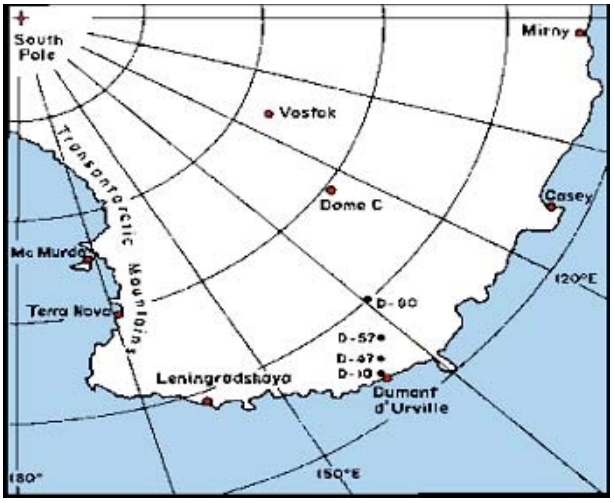


Figure 1: The antartic map. Dome-C is not far from Vostok.

The Seismic Prototype

In antartic environment the first problem is create a cheap sensor working at very low temperatures (normally the common sensor works under -20°). We thought to use the common geophone incorporated into a low-temperature resistant case with a good acoustic conductibility. After several tests we decided to use 8 geophones connected in series (Table 1), in order to improve the signal/noise ratio and to build a special cylindrical case.

Model	SM-4 model B (2)
Frequency	10Hz
Max tilt at F.0	25°
Spurious freq.	180 Hz
Distortion	<0.2%
Coil resistance	71+/-5% Ohm
Sensibility	12.8 V/m/s
Shunt resistance	235 Ohm
Damping with shunt	0.6+/-5%
Height	32 mm
Diameter	25.4 mm
Weight	74 g

Table 1: Single geophone characteristics.

The case is a double layer with an air space to isolate the geophones group (Figure 2). To raise the temperature into the inner layer we put an electrical resistance inside. A special system for coupling the box with the snow was realized: a steel tripod 40 cm long (Figure 4).

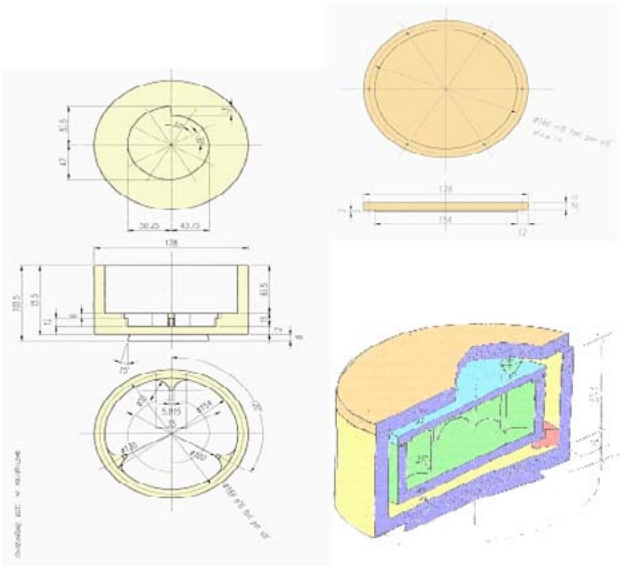


Figure 2: A sketch of the case created for the geophones.

Using an Archimedes's screw it is easy to connect the sensor case to the coupling system. Every group of 3 channels is connected to a box-station. The box-station include a Flash Memory Card to collect the data, a GPS receiver and a 10-hours autonomy battery. A solar panel connected to the box-station allows having another a power supply for charging the batteries.

Figure 3: The case with 8 geophones.

Figure 4: The test in a freezer.

Figure 5: The tripod for coupling the box with the snow.

The Field Test

The acquisition test was performed in December 2003 near the Antarctic Base at Dome C.

All the material was carried with a snowmobile. The entire seismic acquisition system was composed of five independent remote acquisition units with three channels each, a trigger unit and an exploder. We placed the acquisition pattern as shown in the geometry sketch of Figure 6, and energized with explosive at several points with different charges (2,4 and 6 kg). Since the shallow firn layer attenuates considerably the seismic energy, the test verified also the quality data that could be recorded using different kinds of sources: the down-hole dynamite charge and the explosive cord. The blasting hole was performed with a manual drilling rig. The box-systems were activated by the GPS time, then every shot was carried out at fixed time.

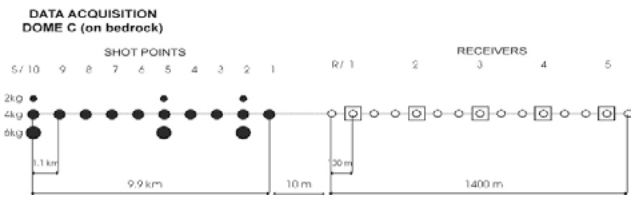


Figure 6: Sketch of the acquisition geometry.

Figure 7: Preparing the blasting

The Results

The seismic shots collected in this first test show that our system could be used to investigate the subglacial lakes. For example the composite shot shown in Figure 8, obtained using a 4 kg dynamite charge at 10 m depth shows a reflection related to the ice/bedrock interface.

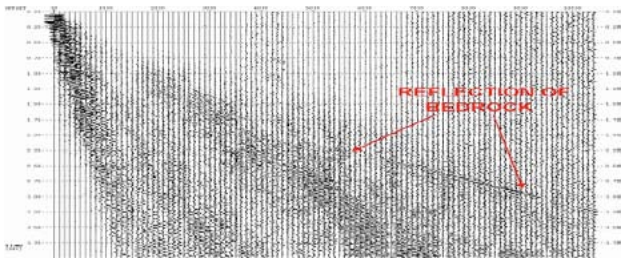


Figure 8: A composite filtered shot (4 kg dynamite charge placed in a 10 m hole).

Conclusion

The test confirmed that the entire seismic acquisition equipment (developed by the OGS) operates successfully at extreme climatic condition (temperatures around -60°C). This experience allows us to program future developments.
The next steps will be the following:

- to increase the number of stations (if we have more channels we can improve the signal/noise ratio).
- to reduce weight and dimension of single station (it's very difficult to move on antartic plateau).
- to try to bypass the firn layer (this layer absorbs strongly the energy).
- to optimize the energization with dynamite (more energy blow up in air) or to find new type of sources (airgun).

References

- Cook, RE (1973) Experimental seismic methods in the Canadian Arctic. Procc. National Convention, Can. Soc. of Expl. Geoph., 47-57.
- Siegert, MJ. (1999) Antarctica's Lake Vostok. American Scientist. 87(6) 510-517.
- Tabacco, IE, Bianchi, C, Zirizzotti, A, Zuccheretti, E, Forieri, A, and Della Vedova, A. (2002) Airborne radar survey above Vostok region. East-Central Antarctica: Ice thickness and Lake Vostok geometry. Journal of Glaciology, 48(160), 62-69.

AE TIME SERIES AS PRECURSORY INDICATORS OF CATASTROPHIC NATURAL PHENOMENA, EARTHQUAKES AND VOLCANIC ERUPTIONS

G. Paparo (1*)
G. P. Gregori (1)
M. Poscolieri (1)
C. Rafanelli (1)

(1) CNR–Istituto di Acustica e Sensoristica "O.M. Corbino" (CNR-IDASC), ICES Group – Area della Ricerca "Roma-Tor Vergata" - via del Fosso del Cavaliere, 100, Rome (Italy).
[*] at present c/o Italian Embassy in Buenos Aires, Billinghurst 2577, 1425 Buenos Aires, Argentina.

Abstract

A synthetic account is given of the leading rationale of the problem. The purpose is to get rid of misunderstandings that sometimes occur, even when dealing with classical and well known items. Owing to brevity requirements, applications to specific case histories cannot be here reported in detail. They are reviewed in several previous papers by the authors (see Gregori et al., 2010, 2010a; Gregori and Paparo, 2010, and references therein), where detailed references are also given.

A few basic concepts

For clarity purposes a few key items are to be recalled as follows:

Simplicity

Owing to the limits of human mind - and owing to the intrinsic complication of natural reality - we need to speculate in terms of "simple" (i.e. "beautiful" according to Einstein) models. Every "simple" model, however, can take into account only a part of observations. In general, different "simple" models can be required for explaining different facets. Only apparently different "simple" models are really incompatible with one another. In general, their controversial inferences only depend on their respective different focus on observations. Every model holds only within the limits of its primary and simplifying assumptions. In contrast with a frequently reported feeling, it is impossible to formulate an exhaustive model that matches both natural complication and human need for "simplicity". Several debates are nonsense.

Continuity

Differential and integral calculus is an algorithm that – since Newton and Leibniz – led to the great classical achievements of natural sciences and of engineering. But both concepts of "infinitesimal" and "infinite" quantities are abstractions by the human mind, while searching for "simplicity". They are not intrinsic features of natural reality. The universe is not infinite. We know that infinitesimal quantities do not exist, and that Maxwell equations no more hold in the atomic and subatomic world. Quantization effects are fundamental.
"Infinitesimal" quantities are synonymous of "continuity". Nothing in natural reality is "continuous". Continuous functions, and differential and integral calculus, are only algorithms aimed at fitting the requirements for simplicity. They can describe natural reality only apart basic approximations that sometimes - in extreme conditions - no more can fit with observations.

The state of matter

An excessive oversimplification is usually conventionally applied while describing the state of matter. This topic ought to deserve much more discussion than can be given here.
Let us only remark that when the molecular and/or atomic bonds prevail, matter is in a so-called "solid" state. When gravity prevails over these bonds, matter is said to be in a "liquid" state. When the kinetic thermal energy prevails, the "gas" state is attained. Much more complicate distinctions ought to be made when dealing with ionized matter, but this is not of concern for the present discussion.

It ought to be pointed out, however, that every aforementioned definition is only the result of an abstraction, i.e. a "simple" assumption, aimed at envisaging a "beautiful" scheme. Natural reality never fits with either one of these ideal states. Every true natural state can be - more or less effectively - approximated by either one of these oversimplifying conceptual, though in the final analysis unrealistic, conditions. As far as fracture phenomena are concerned, the cleavage plane of a crystal could never be explained by any model in terms of a "continuous" medium. It can be justified only by specific reference to the crystal nature of the medium, and by considering the chain reaction process mentioned here below.

Elasticity and plasticity – friction

The same warning applies to the definition of "elasticity" and

"plasticity". No ideal "elastic" body exists. "Elasticity" implies a periodical transformation of potential energy into kinetic energy and vice versa, with no energy damping. "Elasticity" is concerned with an ideal oscillating system, essentially with strictly constant energy content. The cord of a violin (in vacuum) ought to vibrate forever.

This conclusion is unrealistic, as every vibrating material has an internal "friction". "Friction" is a "simple" mathematical artifice for describing – by some easy-to-handle conventional mathematical algorithm – the intrinsically much complicate physical phenomenon that are played by the molecular and/ or atomic bonds on the materials that compose the system. A much longer discussion – which cannot be here reported - ought to be required about the meaning, physical mechanisms, and implications, of "friction".

In reality, every material is only partly "elastic" and partly "plastic". "Plasticity" is an abstraction opposite to "elasticity". An ideal "plastic" material is often called a "Newtonian fluid", i.e. a "fluid" where every "infinitesimal" applied stress always causes a corresponding "infinitesimal" strain. That is, the material always responds passively to an applied stress. This is clearly an ideal condition. It is a requirement of an oversimplifying schematization resulting from an abstraction, which is a limit condition, not a real state of matter.

Resonance oscillation – a chain reaction

It is well known that every physical system, under suitable conditions, displays typical oscillations, which are usually called "resonance frequencies", etc. In addition, when dealing with any one given kind of natural system, it is well known that a system with a comparatively smaller space size resonates on higher frequencies: a shorter cord of a violin emits a higher frequency sound.

The same occurs when dealing with a flaw in a "solid" body. "Solid" means that the material is characterized by prevailing molecular and/or atomic bonds. That is, it is said that the material has a crystal structure. A "flaw" of the medium is a region of space where some bonds yielded.

Consider the system composed by all matter located on the boundary of a flaw. Its mechanical vibration will emit some "elastic" oscillation that will propagate through the surrounding medium. This is the definition of an ultrasound crossing the medium. In the literature this is conventionally called "acoustic emission" (AE).

The observed AE shall be more or less damped, depending on the "elastic" vs. "plastic" properties of the medium, and on the detector being used. Consider that when an AE signal is detected, the detector takes off energy from the signal. In general, owing to physical reasons, the comparatively smaller flaws will evolve and transform into larger flaws, rather than vice versa. The reason is that a flaw makes the material to be locally weaker. Thus, an eventual newly applied stress shall (probabilistically) cause the rupture of additional bonds comparatively closer to previous flaws. A coalescence of flaws will thus occur, into flaws of larger size. It is a process of implosion. The process can be expressively illustrated as a chain reaction.

AE records - the "natural probe" and the damping of the AE signal

AE can be recorded by using an acoustic transducer posed in close contact with the medium through which the AE is propagated.

In the laboratory, one can use a sensor posed e.g. on a steel bar, etc. Steel is a good AE conductor. Hence, the recorded signal monitors an AE originated by any source inside the whole bar. The monitoring device includes the sensor, all its electronics etc., and, in addition, also the entire bar. The AE source can be located everywhere inside the bar. For instance, if a hammer strikes the bar somewhere, the sensor will detect its AE. The monitoring device includes therefore the entire physical system being monitored, and not only the instrumental setting that is used.

In the field, the sensor is posed on top of a rocky outcrop. The usual procedure is by drilling a hole in the rock, inserting a (glass) bar in it, and fixing it by concrete. Then, the AE sensor is strongly fixed on top of the bar.

No AE signal can be monitored on loose soil, because the medium is not "homogeneous" (see here below).

The role that in the aforementioned experiment was played by the steel bar is now played by some large body buried underground, of unknown extension. This can be briefly denoted as "natural probe". It is extended as far as an eventual AE source originates a signal that can be detected by our sensor. The detected signal depends on the intensity of the AE source, and, in addition, on the damping of the signal along the "natural probe" from the AE source through the monitoring sensor.

This behaviour is conventionally parameterized by the so-called "acoustic impedance". The acoustic impedance $Z = \rho V$ of a material is defined as the product of its density ρ and the acoustic velocity V: this is important either for the determination of wave transmission and reflection at the boundary of two materials, and/or for assessing the wave absorption, and/or for designing ultrasonic transducers. In

general, the acoustic impedance depends on frequency, on temperature, and on the rheological characteristics of the medium. An important related concern is about the difficulty to determine V inside a solid object, as – unlike in a fluid medium - AE propagation is normally determined by the geometrical figure of a bar, even much more than by the nature of its composing material. Boundary reflection and/or refraction of the AE signal play a crucial role.

Summarizing, when operating in the field, the "natural probe" is unknown. If the chosen rocky outcrop is representative of a "good" "natural probe", the collected AE records are representative of some significantly much large natural system (e.g. of a volcanic edifice or of a significant tectonic structure). Otherwise, the collected AE records are representative of an isolated boulder, which represents no large natural system. The representativeness of the collected AE record must be evaluated a posteriori upon analyzing the physical significance and consistency of observations.

The behaviour of the "natural probe" is not steady in time. This is the reason of abrupt discontinuities that are often found in the collected AE data series (briefly called minor fracture events, MFE). Sudden cracks in the "natural probe" are eventually compensated by injection of water or other fluids into the cracks. This kind of event causes a step-wise change of the acoustic impedance along the "natural probe".

This drawback implies that the absolute amplitude of the actual measured the AE signal is not significant per se, because it depends on unknown factors, which can change in time either smoothly or step-wise. In contrast, the major physical implications of the AE measurements relies on the relative timing either of their impulses or of other morphological features (refer to the mentions about the algorithms given here below).

Homogeneity

The acoustic impedance depends on the AE frequency. The physical mechanism is clear. Every frequency is associated with a typical spatial wavelength. No material is ideally "homogenous", because "homogeneity" is synonymous of "continuous medium", and "continuity" is an unrealistic abstraction. Every medium - at the molecular/atomic scale - is not "homogenous". Some – either small or large - inhomogeneities always exist, which can be generally denoted as "cavities".

If the wavelength of the AE oscillation is larger than the typical scale size of the cavities of the medium, the AE signal can be propagated, as the medium – at these wavelengths – can be approximated by a model depicted as an "elastic" material.

If the wavelength of the AE oscillation is smaller than the typical scale size of the cavities of the medium, the AE cannot be propagated, because molecules/atoms are moved and displaced only inside cavities, and in general they cannot transfer momentum to their nearby molecules/atoms.

Seismic waves cross the Earth, while ultrasounds cannot propagate through loose matter. Ultrasounds rather propagate only through rocky bodies. In this respect, on the basis of direct experiments in the field, every rock resulted to be a good AE conductor, including compacted moraine bodies. Let us point out that the same argument and warning applies either to mechanical vibrations as above, or to electromagnetic (e.m.) waves. For instance, the solar wind is general described as having an approximately infinite electrical conductivity σ. Therefore, in a strict sense, the solar wind ought to be a perfect Faraday screen, and no solar e.m. wave ought to cross interplanetary space, including visible light and radio waves. That is, the infinite σ approximation holds only for some frequencies, not for all frequencies.

Lognormality

Call E any one event of a given kind. The following concept is quite general, as E can refer either to a physical occurrence, or to a financial phenomenon, or to the use of a service (a train, a subway, a telephone switchboard, water or power public supply, etc.) by any member of society in a given area, etc. Whenever the probability of occurrence of a given E is proportional to the number of E events that are already occurring, it is shown that E shall satisfy to a lognormal distribution.

Mathematicians claim that this is a special case history of the so-called Kapteyn class of distributions. This mathematical property is well known since 1912, although for several decades it was later apparently forgotten by statisticians concerned with Earth's sciences.

Lognormal distributions occur in magnetospheric physics and geomagnetism (see here below), in the interpretation of the hypsometric curve of the Earth or of a planetary object, in the planning of a public service and of its optimum operation, in the study of financial crises, in general whenever one deals with any phenomenon controlled by psychological factors, and even when dealing with some physiological response by specific organs of the human body, etc.

Differently stated, lognormality is not to be associated with any one precise physical (or other) property of the system. It derives, rather, from some mathematical premise that can be more or less approximately applied to several much different case histories. Lognormality is the result of an

abstraction. An abstraction always is more or less simplifying or oversimplifying, such as e.g. when a physical thin sheet of paper is approximated by a geometrical "plane" (which, unlike the paper sheet, has a null thickness), etc.

Lognormality - when it can be applied - implies some common mathematical properties, shared by all the aforementioned much different physical systems. Mathematical implications are common, while the primary driving mechanisms are much different.

"Storms" and "substorms"

One common feature deals with the concept of "storm" and "substorm".

The terms "storm" and "substorm" are borrowed from geomagnetism and magnetospheric physics, because historically these logical features were first discovered within those disciplines. By analogy the same concepts can be extrapolated to all other applications, and the same terms are therefore adopted.

A geomagnetic "storm" is a lognormal behaviour of a recorded geomagnetic signal. It was discovered in the 1930's (by Chapman and Bartels) and its typical duration is in the order of 2-3 days. Its physical justification derives from an anomalous solar wind flow, and its duration depends on the typical scale size of the solar wind input. The geomagnetic observation is one facet of a much more complicate phenomenon, which in reality involves the entire magnetosphere.

Also a "substorm" is concerned with a magnetospheric process. It was evidenced (in 1964 by Akasofu) by means of polar auroras. It also displays a lognormal behaviour, and it typically lasts in the order of 2-3 hours. Its physical justification derives from the time spent by a perturbation of the solar wind to travel the entire length of the magnetospheric tail, where it accelerates earthward the particle population stored inside the plasma sheet.

It was found that a "storm" is the sum of several "substorms". However, different "substorms" were found to overlap with one another in some seemingly erratic way. The physical justification is that different analogous perturbations, which inside the solar wind are capable to trigger a "substorm", overlap in some irregular way.

A "storm" is exhausted when the state of the solar wind becomes anew reasonably steady. At the same time, also the reservoir has exhausted of the particle population, which is stored inside the tail, and that no more affords to supply particles for compensating the lack caused by the plasma cavity inside the solar wind.

Differently stated, a given physical system has one or several different physical mechanisms suited for justifying the observed mathematical behaviour that is typical (i) of lognormality and (ii) of a morphology that can be illustrated by means of the concepts of "storm" and "substorm". Much like Euclidean geometry is a mathematical algorithm dealing with different physical case histories, also lognormality, storms and substorms are mathematical properties that fit with different physical case histories.

Summarizing, when dealing with any other kind of phenomenon, a "storm" is typically associated with a lognormal behaviour. The scale size of its timing depends (i) on the intrinsic physical characteristics of the system of concern, (ii) on the primary trigger of instability of the system, and (iii) on the mechanism of its evolution.

A "substorm" can be identified with any kind of shorter duration component that can be recognized inside a "storm". In general, a "substorm" will be first assessed as an empirical finding. It shall be later identified with a specific physical process or mechanism, which is capable of describing the observed phenomenon by means of a "simple" or "beautiful" model.

Concerning predictability purposes (see here below), it is important to stress that either a "storm" or a "substorm" can be useful only if it displays its full development and completion. Reference is made to a phenomenon that is defined in terms of a finite and non-vanishing typical time lag. If it is aborted and interrupted before its full completion, it can eventually give a false alert.

In the case of the AE application the following conclusions can be inferred. But we should be careful and warn about the need for a long time series of data, which ought to become available for additional confirmation being collected within arrays of AE recording stations.

Every region is likely to react differently to the planetary crustal stress propagation. The present evidence refers to several years of records in the Italian peninsula. A "storm" of crustal apparently crosses the Earth's crust. Its typical time duration is of the order of a few to several years. Upon analyzing the AE signal by the OFTH algorithm (see here below) - and specifically by means of the fractal dimension of the AE signal - it seems possible to recognize "substorms" of crustal stress, every one of a typical duration of only a few weeks.
For additional details refer to the aforementioned papers.

Fractality and SOC

Since the late 1960's fractality is a well known feature, which is now clearly assessed and recognized in several phenomena. No details are therefore here given. Concerning the present application, and its algorithms (box counting method, etc.), reference ought to be made to the previous literature by the authors.

Let us only recall the sand pile theory, which is now almost a classic problem. Let a sand pile to grow up by a gentle and slow addition of sand. It will be raised in a state of more or less unstable equilibrium. Some part of the pile will eventually - and more or less erratically - slide down. The state of the system is called a "self-organizing criticality" (SOC). Its definition dates back to Bak et al. (1987). SOC theory is sometimes applied also to crustal phenomena, seismicity, etc. Fractality and SOC are algorithms that certainly apply also to AE records.

Summarizing, lognormality, fractality, SOC, "storms" and "substorms", are all much general mathematical facets of the same basic logics, which eventually apply to much different physical case histories, every one characterized by different primary drivers.

Outliers

Consider a given set of elements. An outlier is defined every element that behaves in some substantially different way, compared to the largest fraction of elements in the set. For instance, given a time series of records - such as e.g. the AE records - consider all consecutive measurements that are contained inside a pre-chosen time interval of given duration. All these records at to be reasonably expected to display a Gaussian distribution. If one or a few elements do not fit into a Gaussian distribution, they are called "outliers".

An outlier can be the result of a malfunctioning of the recording device. In this case that measurement does not partake to the phenomenon that we want to study. But, on other occasions, an outlier occurs whenever the physical system changes its state or composition, by which different measurements refer to physically different conditions. Therefore, in general, the outliers have to be necessarily and correctly rejected from a given data set, because it makes nonsense averaging over data that refer to physically different systems.

On the other hand, the set of the rejected outliers often contains some relevant physical information. It refers to a different and peculiar typical state of the system, i.e. it is a different experiment. That is, the outlier set has to be analyzed independent and separately compared to the analysis of the main set, i.e. of the residual set after outliers rejection. Outlier rejection relies on the application of a logical "sieve", defined with some pre-defined "holes". The larger the "holes", the less is the number of rejected outliers. In the case of AE records, when the "holes" were chosen of different and increasing size, the number of outliers did not diminish significantly. This finding depended on the fact that, owing to the lognormality of the reaction chain (applied to every micro-fracturing event), the AE signal is intrinsically asymmetric, due to the tail of the lognormal distribution.

The outlier analysis is a heuristically much promising algorithm, to be still suitably exploited up to its ultimate inferences.

Teleconnection – the spatial scale

The following rationale applies only to measurements carried out in the field. Let us suppose that AE is monitored at two stations located at some relative distance D along the Earth's surface. Suppose that some observed features found in the two recorded AE time series appear much similar to each other. This appears much like in the case that a teleconnection is operative between the two sites. The concern is about giving a physical justification for this correlation.
On a mere physical basis it is well known that the entire primary AE phenomenon can involve much different spatial scales.

One extreme condition is attained when phenomena have a typical planetary scale. For instance, all phenomena that affect the length of the day (l.o.d.), or pole displacement, have a planetary scale. Since a few decades it is well assessed that the variation of the l.o.d. is due to the lunar plus solar tide. But the tidal effect is not mainly associated with the action of the tide on solid Earth. Rather it depends on the action on ocean water, which piles up on continental shelves. The water pushes then on continents, hence on the crust. The final result is a slowing down of the spin rate of the Earth. This implies a violent stress propagation throughout the planetary Earth's crust. The observed teleconnection depends therefore on the common cause that is active at different AE recording sites, eventually with some time delay, etc.

The opposite extreme condition is represented by an earthquake. It involves a much limited focal volume (implying only a few cubic kilometres). This is because an earthquake is the release of elastic potential energy. Every small sample of crust cannot accumulate elastic energy above some physical threshold, because in the opposite case that sample should yield before attaining that level of accumulated energy. Therefore, a given total destructive power of a given shock must rely on the energy accumulated inside some crustal volume of a given and limited, though not vanishing, size. In

any case, compared to the planetary scale, an earthquake appears to be only almost a point on the Earth's surface. In general, one can expect that an apparent teleconnection exists between AE recording sites located at a different distance D. This D in general is different for different kinds of phenomena. For instance, one and the same earthquake precursor can be observed (or not) at some given D depending on the general tectonic setting, and on the primary trigger of that given precursor.

Clearly it makes nonsense searching for any "universal" criterion applicable to "every kind" of precursor, and everywhere on the Earth's surface, much like it makes nonsense denying the possibility of the existence of teleconnection, which in fact appears to be a standard occurrence, as it was observed on several occasions. Differently stated, if the same observational AE feature is observed at two sites located at a distance D, either there is a wave guide capable of transferring the AE signal between the two sites, or one and the same common cause triggers the analogues or identical AE signal more or less simultaneously observed at the two sites. Alternatively one could also state – but this is the same as above – that some "long wavelength" signal is propagating between the two sites (almost like a seismic wave), which is the common cause that locally triggers analogous or similar AE effects at the two sites.

Timing

Smaller flaws coalesce into larger flaws. Hence comparatively high frequency (HF) AE, from one and the same physical source, shall precede the analogous effect released at the low frequency (LF) AE. The concern is therefore about quantifying the time lag between the HF AE and LF AE observed effects. This time lag will result to be different depending on the case history of concern. For instance, in the laboratory the timing will result much different depending on whether (e.g.) a steel bar is slowly bent by applying a progressive load during several hours, or rather a hole is made inside it by an electric drill during a few ten seconds, or rather it is drilled by a chisel pushed by an explosion hammer. In either case, the timing will be observed in the HF AE and LF AE sequence, but the time scale will be much different.

This also implies specific requirements about data acquisition. For instance, in the case of field records (tectonic or volcanic environment) one datum every 30 sec was adopted. But in the case of a chisel operated by an explosion hammer, a time rate of the order of 1 msec ought to be necessary. The logics are the same, but the orders of magnitude may be much different in different applications.

According to the present available observational evidence (refer to the aforementioned papers for details), in the case of earthquake precursors it appears that an HF AE (~200 KHz) precursor occurs several months in advance before the shock, an LF AE (~25 KHz) precursor occurs several weeks in advance, while the seismic roam precedes the shock by a few ten seconds, and the vibration of mechanical structures in a house precede the destructive shock by a few seconds.

Predictability

Earthquake "prediction" is an irrational "myth" still often surviving even in qualified official institutions. A "prediction" implies the capability to specify an error bar. In the case of an earthquake, one should specify (with its error bar), location of the epicentre, time of the main shock, magnitude, and also the extension of its damage. Nobody (either a meteorologist or a medical doctor) is capable of issuing with absolute certainty a forecast dealing with any catastrophic event of his specific concern. If some organization eventually issues a seismic alert, and then the event does not occur, the present legislation in every country is such that the government would subpoena that organization. That is, society subpoenas a geophysicist, not a meteorologist or a medical doctor who makes a wrong diagnosis.

Instead of "prediction", one should rather consider issuing a "diagnosis" of the state of the crust, or of any other physical system of concern (building, bridge, crane, pipeline, road embankment, landslide, etc.).

No unique and "magic" tool exists for making any kind of "diagnosis". Different physical and chemical parameters ought to be simultaneously taken into account and inserted into some model capable of interpreting observations (medical doctors do the same for their patients).

As far as the seismic (or similarly also volcanic) applications are concerned, let us suppose that the AE station is monitoring the focal volume of a potential future earthquake. According to the aforementioned rationale, an HF AE paroxysm is first observed. Then analogous paroxysms are observed in a cascade of subsequent comparatively LF AE. An obvious inference is that when the paroxysm is observed in the final frequency band - which is typically of ~0.5-1 Hz - an earthquake must occur. That is, this is a "prediction". On the other hand, two fundamental physical facts must be taken into account.

The first drawback derives from the fact that a given focal volume eventually changes its boundary conditions. Hence, the stress that is applied to it by its contiguous Earth's crust is changed during the evolution of the time series of subsequent AE paroxysms. Therefore, this time series is eventually

physically interrupted, due to the changed crustal environment. In this case, a sequence of much precise precursors will be observed during some time interval. But at a certain point the system - with no apparent reason - abruptly interrupts its disquieting precursor sequence, and no catastrophe is later going to occur. This does not mean that the "prediction" was wrong. Rather, this means that the phenomenon, which was evolving towards the catastrophe, was abruptly stopped, due to the compensation by some unknown control factor.

The second drawback is that the aforementioned AE "prediction" cannot specify the magnitude of the earthquake. This depends, rather, on the amount of elastic energy that is stored inside the focal volume. In contrast, the AE "prediction" is concerned only with its trigger, and with the timing of events, but it cannot refer to their intensity. The magnitude of a possible earthquake has to be investigated by means of a completely different rationale, ultimately relying on the old-fashioned so-called "seismic gap" criterion. This is a classical and much investigated item, which is outside the concern of the AE information.

Concerning AE records, the real difficulty is therefore that - while making measurement in the field and unlike when experimenting in the laboratory – every small-magnitude shock can be potentially associated with a time series of the observed AE paroxysms. AE is a diagnostic tool, not a forecaster; much like in medical sciences a diagnostic tool cannot forecast the time of the passing away of a patient. In the laboratory - or in general when monitoring a manmade structure – the detailed composition of the system is well known, and the random occurrence is much reduced of possible unknown control factors. Hence, several aforementioned difficulties no more exist, and a security system can be safely implemented for monitoring the performance of the structure.

Algorithms (OFTH)

The recorded AE is an rms amplitude averaged over a given elementary time interval. In the field this interval was chosen ~30 sec.
Standard software was implemented - and it was repeatedly tested in several case histories - and it is denoted by OFTH.
"O" denotes search for outliers. They are rejected twice.
The first time reference is made to a window of pre-chosen duration, which is moved along the time series of records at a given AE frequency. The second time the algorithm is applied to the time series of the residuals of the AE time series, after subtracting the moving average "F" (see here below).
The difference between the two time series of outliers resulted to be only of a few percent. Nevertheless, it is worthwhile computing it twice, due to practical help when dealing with oversaturation of the signal (see here below).
"F" denotes weighted moving average of the AE original signal. When dealing with applications to field records, the diurnal moving averages were computed in order to filter out thermoelastic modulation (and also part of the tidal variation). The weight or "system function" was chosen triangular, for cutting the side lobes.

"T" denotes the role of time or of the ageing of materials. It is expressed by the fractal dimension of the AE time series. The fractal dimension is computed for every given moving time interval, of a fixed and pre-defined duration. Every case history of this subset is then represented by a sequence of events, every one above a given threshold, defined by means of the series of the aforementioned residuals.
"H" is for "hammer effect". It can be shown (details cannot be given here) that it is possible to assess – rigorously and on an instant basis – whether the recorded AE signal is being released (i) as a response of the system to some externally applied stress, or, rather, (ii) as the result of a process by which the system is recovering after having been subjected to an externally applied stress.

An important warning however was assessed a posteriori. The electronic amplification applied by the data logger is generally fixed arbitrarily. If the signal gets in over-saturation, the recorded AE signal gets flat and constant on its maximum possible value, and no fractal analysis can be carried out. The record is essentially lost. Similarly, if the signal is under-amplified, it gets into under-saturation, and the recorded signal is flat on the null value. The information is lost.
Unfortunately, natural phenomena appear to be much erratic, e.g. depending on whether a "storm" is on or not. The requested physical range of possible amplitudes of the observed AE signal is therefore wider than normally expected by a standard measuring apparatus. Therefore it appears worthwhile to set up an automatic device that changes the amplification of the data logger, e.g. proportionally to the average AE absolute amplitude recorded during the previous days.

Conclusions – Future needs and perspectives

Much misunderstanding is often found when these topics are discussed. Hence, for clarity purposes, it is important to stress that AE records can provide with no "prediction". They are rather a diagnostic tool, much like in medical sciences one or several different tools help in diagnosing the state of health of a patient, though they cannot forecast her/his passing away. Earthquakes are a dramatic concern for society. Different roles are pertinent to different specialists.

- AE observations – whenever suitably improved, see below – can help in diagnosing a possible or likely time interval

(or "storm" time) when a "catastrophic" event could occur somewhere within some wide area and of unknown intensity.
- The site of the (possible) epicentral area cannot be assessed by means of one AE station alone, rather – at most – by a suitable array of AE stations. Also the magnitude of a possible future shock cannot be inferred by AE records.
- The operative procedures, in terms of potential causalities, destructions, costs, and feasibility – are to be decided by the Civil Protection of every country. It is not a concern of the geophysicist.
- Managing the drawback of possible false alerts is the responsibility of legislation. False alerts have a cost, although this is to be considered like an insurance cost aimed at limiting causalities and damages.

Improvements can be envisaged, when dealing either with every single AE station, or with an array of AE stations. In either case, it should be stressed that phenomena are never repetitive. Every earthquake is a different case history, either because it occurs in different tectonic settings, or because - when it occurs in the same area - the general environmental conditions have evolved. The arrow of time is always in one direction, and everything is permanently ageing.

By means of one AE station alone, a substantial improvement of the reliability of the diagnosis can derive from monitoring the temporal evolution of the system by means of a greater number of frequencies, e.g. at 20, 15, 10, 5, 2.5, 1 kHz, ... By this, one and the same (or much similar) kind of precursor is to be expected to be observed in a temporal sequence from higher through lower frequencies. That is, in this way some "movie" of the evolution of the system can be given, with a capability of envisaging the critical time of a possible "catastrophe", with an increasingly better temporal resolution. In addition, consider that every "precursor" is biased by some noise. Hence, the observed sequence of precursors can validate their respective significance and give an indication on their respective signal/noise ratio.

A substantial drawback, however, is that the evolution of the physical system can eventually change during its development, due to an unexpected change of its boundary conditions in terms of a modified stress transfer from its contiguous crust. Another (aforementioned) drawback is that a given AE precursor equally holds either for a violent or for a weak earthquake.

Whenever an array of AE stations will be available, on the one side the propagation of crustal stress through a given area can be traced, and – mostly – the crustal extensions can be assessed that can be approximately treated like a unique lithospheric slab.

An earthquake is per se a very bad indicator. It is a phenomenon that is characterized by a much erratic signal-to-noise ratio. It is likely that other methods can provide with easier and more reliable information for guessing the spatial location of the hazard. AE monitoring is rather one much effective diagnostic tool, although mainly for monitoring the time evolution of the system towards an eventual forthcoming "catastrophe".

Acknowledgements

The authors express their gratitude to Giuliano Ventrice for his contribution in providing and calibrating the AE monitoring apparatus and Sara Desimone for periodically collecting, archiving and processing the AE time series.

References

- Bak, P., Tang C., Wiesenfeld K.: Self-organizing criticality. An explanation of 1/f noise. Phys. Rev. Lett., 59, (4), 381-384, 1987.
- Gregori, G.P., Paparo, G.: Lognormality and fractality. A unique rationale for different phenome-na, preprint, 2010.
- Gregori, G.P., Poscolieri M., Paparo G., De Simone S., Rafanelli C., Ventrice G.: "Storms of crustal stress" and earthquake precursors. Nat. Hazards Earth System Sci., 10, 319–337, 2010.
- Gregori, G.P., Paparo, G., Poscolieri, M., Rafanelli, C., Ventrice, G.: Acoustic emission (AE) for monitoring stress and ageing in materials. Time scales, lognormality, fractality, and precursors, submitted to Strain, 2010a.

MODELADO 3D DEL PLUTÓN USHUAIA. TIERRA DEL FUEGO. ARGENTINA

Peroni, Javier (1)
Tassone, Alejandro (1)
Lippai, Horacio (1)
Menichetti, Marco (2)
Lodolo, Emanuele (3)
Hormaechea, José Luís (4)

(1) CONICET-INGEODAV. Dpto. de Ciencias Geológicas. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. Universidad de Buenos Aires. Ciudad Universitaria. Pabellón 2. Entrepiso. -1428- Ciudad autónoma de Buenos Aires. Argentina. Email: peroni@gl.fcen.uba.ar, atassone@gl.fcen.uba.ar, lippai@gl.fcen.uba.ar

(2); Istituto di Scienze della Terra, Università di Urbino, Campus Universitario, 61029, Urbino, Italia, Email: marco.menichetti@uniurb.it

(3); Istituto Nazionale di Oceanografia e Geofisica Sperimentale, Borgo Grotta Gigante, 42/c, 34010, Sgonico, Trieste, Italia, Email: elodolo@ogs.trieste.it

(4); Estación Astronómica Río Grande (UNLP-CONICET), Acceso Aeropuerto, V9420EAR, Río Grande, Tierra del Fuego, Argentina, Email: jlhor@earg.gov.ar

Palabras Claves

- Modelado geofísico
- Anomalías magnéticas
- Tierra del Fuego

Resumen

El Plutón Ushuaia aflora en la zona de la bahía homónima, al sur de la Isla grande de Tierra del Fuego. Está emplazado, intruyendo y afectando a las rocas sedimentarias y esquistos negros de la Fm. Yahgán, del Cretácico inferior, deformadas por la compresión Andina del Cretácico superior que afectó a todas esta región austral de Sudamérica. Está afectado por fallas transcurrentes y normales, asociadas al sistema de fallas a lo largo del Canal de Beagle.

Un relevamiento aeromagnético presenta una anomalía magnética positiva, de 70 km2, de forma elíptica en planta, con su eje mayor de orientación ENE-OSO. Los valores residuales de la anomalía alcanzan los 1200 nT y las líneas de isovalores poseen una distribución asimétrica, con una mayor concentración al este de la anomalía, y una mayor separación entre ellas, al suroeste de la misma. En base a los datos aeromagnéticos y geofísicos-geológicos (valores de susceptibilidad y remanencia) obtenidos en el terreno, se ha desarrollado por primera vez un modelo geofísico en tres dimensiones del Plutón Ushuaia. Este cuerpo, compuesto por dos litologías dominantes, hornblendita y sienita, ha sido modelado con forma de lacolito, con un espesor máximo de 2000 metros en su parte central. Hacia los bordes el espesor del cuerpo disminuye, llegando a los 500 metros. En planta, el cuerpo posee una forma ovalada, con su eje mayor (de 12 km) en dirección N-S y su eje menor (de 10 km) en dirección E-O, con un volumen total de 150 km3. A partir de los datos geofísicos-geológicos, se propone que el intrusivo Ushuaia podría haberse emplazado bajo un régimen transtensivo, a finales del Cretácico.

Introducción

El Plutón Ushuaia, es uno de los pocos afloramientos del Batolito Fueguino (BF) en el sector argentino de la Isla Grande de Tierra del Fuego. El BF aflora principalmente al sur del canal de Beagle, en territorio chileno, conformando una extensa faja de afloramientos en las islas de Hoste y Navarino (Figura 1b), y en toda la zona suroeste del territorio chileno, y corresponde a la porción más austral del Batolito Patagónico (Figura 1a) (Hervé et al 2007). Es una intrusión múltiple en la que se distinguen tres grupos: el Complejo de Gabros, de edad cretácica inferior (141-103 Ma), y dos asociaciones de granitoides, el Grupo Plutónico Canal de Beagle, de edad cretácica (113-81 Ma) y el Grupo Plutónico Seno Año Nuevo, del Paleoceno (60-34 Ma.) (Hervé et al., 1984; Hervé et al. 2007).

En la margen norte del canal de Beagle en la Isla Grande de Tierra del Fuego (Figura 1), los afloramientos conocidos actualmente, son escasos y reducidos, limitados a plutones de menos de 20 km2 como el Plutón Fagnano o Kranck situado en la margen norte del Lago Fagnano (Tassone et al., 2007 ; Peroni et al., 2007, 2008), el Plutón Diorítico Moat (Gonzales Guillot, 2005), unos stocks dioríticos en la zona de Rancho de la Lata, sobre el paso Spion-Kop, mencionados por Petersen (1949), el Cerro Jeu-Jepén, (Acevedo et al., 2000; Cerredo et al., 2000,2005; Tassone et al, 1998, 1999, 2005a,b) además del Plutón Ushuaia, (Acevedo 1989, 1996; Acevedo et al., 2002; Tassone et al, 2005b, 2006; Menichetti et al, 2007; Peroni, 2006).

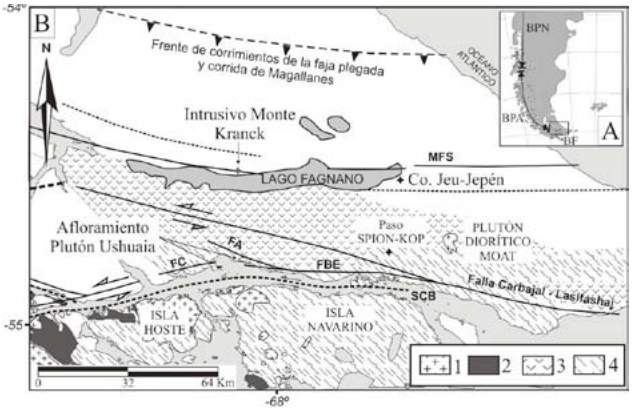


Figura 1: A) Mapa de ubicación del extremo más austral de Sudamérica. BPN: Batolito Patagónico Norte. BPA: Batolito Patagónico Austral. BF: Batolito Fueguino. B) Mapa general y estructural, con distribución de las unidades geológicas en la zona de estudio y alrededores: 1-Batolito Patagónico sin diferenciar, 2-Complejo Tortuga, 3-Fm. Yahgán, 4-Fm. Lemaire. SCB: sistema de fallas del Canal de Beagle, FC: Falla Cadic, FA: Falla Andorra, FBE: Falla Beagle este, MFS: Sistema de Fallas Magallanes-Fagnano (Modificado de Menichetti et al. 2007).

La evolución tectónica de la región de Tierra del Fuego ha sido el objeto de numerosos estudios, en particular en la zona comprendida por el orógeno fueguino y su faja plegada y corrida en el sector de los Andes Australes (entre los más recientes Cunningham, 1993; Klepeis, 1994; Mukasa y Dalziel, 1996; Diraison et al., 2000; Lodolo et al., 2002a,b ;2003, Kraemer, 2003; Ghiglione y Ramos, 2005; Menichetti et al, 2007 y trabajos citados allí). Otros aspectos como la estratigrafía relacionados con la evolución de la región de Tierra del Fuego, han sido abordados en el sector argentino de la Isla Grande (Olivero et al., 1999; Olivero y Malumian, 1999, 2008; Olivero and Martinioni, 2001 y trabajos citados allí), brindando un marco adecuado para control geológico de estudios en el terreno. También ha sido abordado el estudio petrológico de los pequeños cuerpos intrusivos, en el sector argentino (Acevedo et al., 2002; Cerredo et al., 2000). Sin embargo, hasta ahora no se a articulado un estudio sistemático multidisciplinario, sobre los cuerpos ígneos mencionados. Es por ello, que, en los últimos 5 años, el grupo del trabajo del INGEODAV y colaboradores, ha realizado varios estudios geofísicos y estructurales sobre la naturaleza y ambiente de emplazamiento de diversos cuerpos intrusivos en el sector argentino de Tierra del Fuego, incluyendo el modelado magnético y gravimétrico en 2D (Cerredo et al., 2000; Menichetti et al., 2007; Peroni, 2006; Tassone et al., 2002; 2005a;2006) junto con el relevamiento sistemático de datos de fábrica magnética (anisotropía de susceptibilidad magnética) y estudios paleomagnéticos (Baraldo et al., 2002; Esteban et al., 2007, 2008; Rapalini et al., 2005; Rapalini, 2007).

En toda esta región y a lo largo de la costa del Canal de Beagle, se efectuó un relevamiento aeromagnético realizado en el marco del Proyecto PASMA (Proyecto de Apoyo al Sector Minero Argentino), en el año 1996, entre el Banco Mundial y el SEGEMAR. Dichas cartas han sido de utilidad para la identificación, ubicación y modelado de cuerpos intrusivos presentes en el área que fueron previamente citados.

Debido a que la mayor parte de la superficie de la Isla Grande de Tierra del Fuego esta cubierta por bosques y turba, y dadas las limitadas exposiciones de cuerpos intrusivos, la información aportada por la geofísica constituye una herramienta esencial en el estudio de plutones pobremente expuestos.

El objetivo de este trabajo ha sido obtener el modelado en 3D del Plutón Ushuaia que permitiese extrapolar en profundidad las observaciones de superficie. Este modelo se confeccionó a partir de la información geológica (litología integrada a las estructuras), con datos geofísicos (anomalías magnéticas, susceptibilidad, y remanencia magnética).

Marco Tectónico Regional

La isla de Tierra del Fuego se localiza en el extremo austral de la Cordillera de los Andes donde éste presenta una abrupta flexión de casi 90º al Este, con respecto al rumbo Norte-Sur dominante a lo largo del oeste de Sudamérica.

El arreglo tectónico regional actual de la zona de Tierra del Fuego es el producto de una evolución extensa y compleja que involucró al extremo más austral de Sudamérica, Sudáfrica y la Antártida desde el Paleozoico, cuando estos tres bloques formaban parte de Gondwana. Hacia inicios del Mesozoico existía una zona de subducción a lo largo del margen activo del oeste del supercontinente (Dalziel y Elliot, 1973; Dalziel, 1982). Debido a la extensión regional asociada al desmembramiento de Gondwana, durante el Jurásico inferior a medio (Bruhn et al, 1979), se produjo una extensa emisión de material silíceo-volcánico, asignados a la Fm. Tobífera (Fm. Lemaire en Argentina) sobre toda la Patagonia, incluidos los Andes Fueguinos. Este período extensional, llevó asociado la producción de fajas de corteza oceánica (representada por los complejos ofiolíticos Tortuga y Sarmiento) debido a la generación de la Cuenca Marginal de Rocas Verdes (CMRV) (Dalziel y Elliott, 1973) , con la consecuente deposición de secuencias marinas (Dalziel, 1981) conocidas en la parte argentina de la isla de Tierra del Fuego como Formación Yahgán. Conjuntamente con este período extensional, una enorme zona de rift se generó entre Sudamérica y Afríca, que llevó a la formación del Océano Atlántico como así también del Mar de Weddel.

Aproximadamente, hacia los 100 Ma (Dalziel, et al 1974),

comenzó una etapa compresiva en la zona de los Andes del sur, quizás como resultado de un cambio en la velocidad de convergencia de las placas involucradas en la apertura del Atlántico Sur. Esta fase compresiva generalizada condujo al cierre de la CMRV y al contemporáneo desarrollo de la Cuenca de Magallanes como cuenca de antepaís (Natland et al., 1974). Desde el Mesozoico tardío hasta el Terciario la región de Tierra del Fuego experimentó la propagación hacia el continente de la faja plegada y corrida (Winslow, 1982; Biddle et al., 1986; Alvarez-Marrón et al., 1993; Ghiglione y Ramos, 2005; Menichetti et al., 2008; entre otros). Es durante este período donde encontraría su expresión el plutonismo presente en la zona de estudio.

Hace 30 Ma. comenzó la apertura del Pasaje de Drake, entre Sudamérica y la Península Antártica, con el desarrollo de la Placa de Scotia. El límite entre las placas de Sudamérica y Scotia, representado en Tierra del Fuego por un fallamiento esencialmente de rumbo, es conocido como Falla Magallanes-Fagnano, que se extiende desde la Dorsal Norte de Scotia, hasta la trinchera chilena a los 50□S (Fuenzalida, 1972; Dalziel, 1989). La cinemática de estas fallas y de las estructuras asociadas son preferentemente transcurrentes sinestrales con una importante componente extensional (Lodolo et al., 2001).

Fuentes, Datos Y Relevamiento Geológico-Geofísico

Geología Del Área De Estudio

El Plutón Ushuaia, se encuentra intruyendo a las rocas sedimentarias de la Fm. Yahgán, a las cuales ha metamorfizado. La Fm. Yahgán representa el relleno de la cuenca marginal de Rocas Verdes. Está compuesta en por pelitas marinas profundas, de 6000 metros de espesor, incluyendo turbiditas andesíticas volcaniclásticas y tufitas del Cretácico inferior (Olivero and Malumián, 2008). Estos últimos materiales volcaniclásticos derivan del arco volcánico situado al sur (Dalziel, et al 1974) y forma una faja con orientación WNW-ESE que aflora en la parte sur de Tierra del Fuego. La Fm. Yahgán se encuentra afectada por un metamorfismo, en grado de esquistos verdes, con una intensa deformación producto de la fase tectónica Andina del Cretácico superior, presentando dos fases: la primera (D1) (Menichetti et al., 2008) esta representada por pliegues isoclinales, en una escala decimétrica, y con un plano axial subperpendicular a la estratificación. Una segunda fase deformativa (D2) esta representada por grandes pliegues mesoscópicos, que presentan en su interior estructuras replegadas de la fase D1. Afectando a toda el área, se encuentran fallas inversas y retrocorrimientos de bajo ángulo, con vergencia al norte. Por último, un sistema de fallas transcurrentes y normales, subverticales, que inclinan al sur, asociadas al sistema de fallas del Canal de Beagle, cortan a la mayoría de las estructuras compresivas (Menichetti et al 2004).

La Fm. Yahgán en el área de Ushuaia, comprende brechas y conglomerados gruesos, areniscas, turbiditas, pelitas negras tobáceas y tobas. La misma se encuentra intruída por el Plutón Ushuaia, el cual genera una aureola de contacto de al menos 1.5 km de extensión. Las asociaciones de contacto se desarrollan principalmente en las facies de grano fino (pelitas) de la Formación Yahgán. En las variedades más psamíticas se advierte un mayor grado de cohesión respecto a los mismos tipos litológicos fuera del área de influencia del intrusivo, pero no se reconoce el desarrollo de paragénesis de contacto salvo por la presencia de venas de escapolita+mineral opaco (pirita). Las asociaciones de contacto desarrollados en las rocas de caja permiten distinguir dos zonas en la aureola de contacto (Figura 2b): una zona interna caracterizada por la presencia de granate+biotita y otra externa, más alejada del contacto con el intrusivo donde el mineral de contacto es sólo biotita. La zona interna de granate-biotita tiene un desarrollo de al menos 300-400 metros en tanto que la de biotita presenta una extensión del orden del kilómetro. Los minerales de contacto son de grano muy fino (< 0.2mm) y se presentan en bajos porcentajes, de distribución irregular dentro de la roca (Peroni, 2006). En la zona de la Península Ushuaia, la Formación Yahgán se presenta como facies de grano fino, que muestran un bandeado con alternancia de capas (de 0.5-5cm) color ocre y castaño oscuro. Se trata de rocas muy cohesivas, de fractura concoide, debido al efecto de metamorfismo de contacto caracterizado por asociaciones minerales como biotita, sericita, granate y cuarzo (Elztein, 2004), por lo que se corresponde con la mineralogía propuesta por Yardley (1989) para las facies de hornblenda. El porcentaje de granate llega al 15%, lo que permite clasificarlas como hornfels granatífero.

El Plutón Ushuaia, presenta los mayores afloramientos en la zona de la Bahía Ushuaia, y esta compuesto principalmente por una hornblendita de textura granosa gruesa, con abundante clinoanfíbol y escaso clinopiroxeno, dioritas y facies monzodioríticas y cortado por numerosas venas y diques de composición sienítica (Acevedo, 1989). Incluye términos en el rango de ultrabásico a intermedio, con un 40 a 65% de SiO2.(Cerredo et al., 2000, 2005). Se distinguen dos sectores según la relación hornblendita/sienita (Peroni, 2006). El tramo sudoriental está caracterizado por afloramientos que esencialmente corresponden a hornblenditas y donde la presencia de sienitas se restringe a venas y diques de escasa potencia (< 1 m) siendo designado como facie ultrabásica.

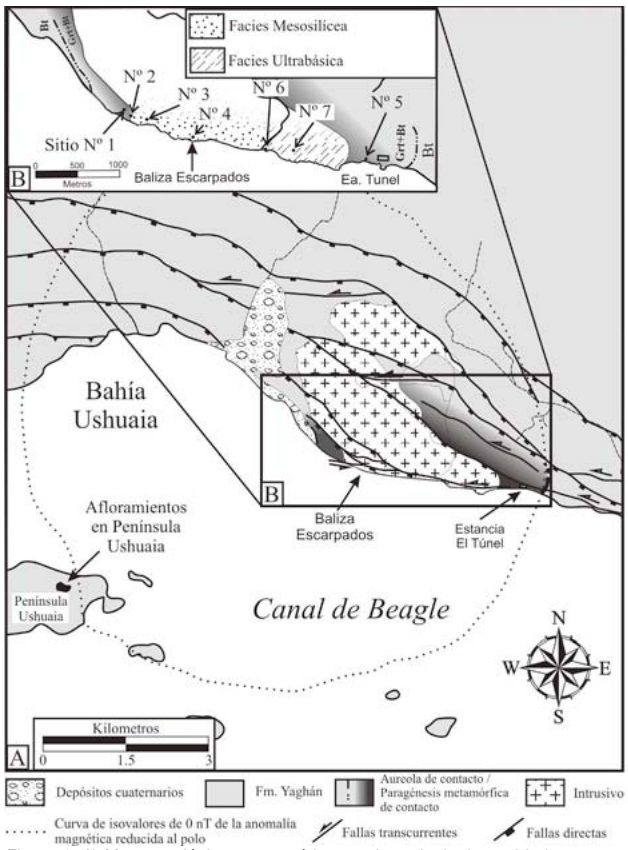


Figura 2: A) Mapa geológico esquemático con las principales unidades aflorantes de la margen norte del Canal de Beagle (modificado de Menichetti et al, 2007). B) Mapa de las distintas facies del Plutón Ushuaia y de la roca de caja (modificado de Peroni, 2006) y localización de los sitios de muestreo geofísico.

El tramo noroccidental está caracterizado por facies mixtas sienítico/hornblendíticas, en las que el componente sienítico adquiere transicionalmente de SE a NO cada vez mayor volumen relativo respecto a las rocas melanocráticas. Se la designó como facies Mesosilícea (Figura 3A).

En la facies Ultrabásica las rocas dominantes son generalmente de grano grueso (> 5cm) con contenidos de anfíbol que superan el 80% de la roca. Pueden acompañar al anfíbol cantidades menores de clinopiroxeno; se registra también la presencia de plagioclasa, epidoto, titanita y apatita en posiciones intersticiales. El mineral opaco, presumiblemente magnetita, dados los altos valores de susceptibilidad magnética medidos para estas rocas y los datos composicionales reportados en la literatura (Acevedo, 1996; Acevedo et al., 2002), se presenta como inclusiones en el anfibol. Las rocas sieníticas, muy subordinadas en esta facies, son de grano fino, compuestas esencialmente por feldespato potásico y plagioclasa ácida, con cantidades muy menores (<5%) de minerales máficos (anfibol, biotita, titanita) y opacos (muy probablemente magnetita, también debido al tipo de respuesta magnética registrado en estas rocas).
La facies noroccidental del perfil, denominada facie Mesosilícea, presenta un mayor desarrollo de sienitas respecto al tramo sudoriental (Figura 3A). Por sectores las sienitas llegan a ser la roca dominante que aloja enclaves de hornblenditas de distintos tamaños (desde pocos centímetros hasta metros) a veces de contornos difusos y bordes almohadillados que señalan procesos de mezcla de magmas. En la zona de la península Ushuaia existen tres paredes labradas artificialmente que exponen niveles superiores del intrusivo. El contacto plutón/caja sedimentaria es neto, observándose apófisis del intrusivo que penetran a modo de diques en la Fm. Yahgán, provocando un domamiento, producto de la intrusión (Figura 3B).

Esta facies marginales del intrusivo, consideradas así debido a su ubicación con respecto al modelo magnético y a su litología, comprende rocas que composicionalmente cubren el rango granodiorita, monzonita, monzonita cuarzosa, diorita a diorita gabroica. La gran variación composicional en un área tan reducida se debe a la presencia de cantidades variables de enclaves microgranulares máficos de distintos tamaños (desde milímetros hasta 10 cm) y mostrando distintos grados de asimilación por la roca portadora. Se han identificado pocos enclaves mayores, del orden del metro, que corresponden a monzogabros (la denominación de las rocas se basa en la clasificación química de rocas plutónicas propuesta por Middlemost, 1994).

Se han identificado facies leucocráticas desprovista de enclaves máficos (que clasifican químicamente como dacitas/granodioritas) de textura porfírica con fenocristales de plagioclasa, pirita y más raramente biotita, en pastas muy remplazadas de textura microgranosa a felsítica. Esta facies presenta bordes de enfriamiento más ricas en minerales máficos. La facies leucocrática que aloja enclaves máficos, comprende monzodioritas, monzonitas cuarzosas y presentan textura monzonítica, incluyen enclaves gábricos de grano fino compuestos por cantidades semejantes de anfibol y plagioclasa. Se observan variaciones graduales entre esta facie leucocrática a otra mesocrática también con enclaves. En todas las variedades reconocidas el mineral opaco es pirita, que se presenta generalmente como cristal en las rocas más siliceas y como relleno de fracturas en las variedades más básicas.

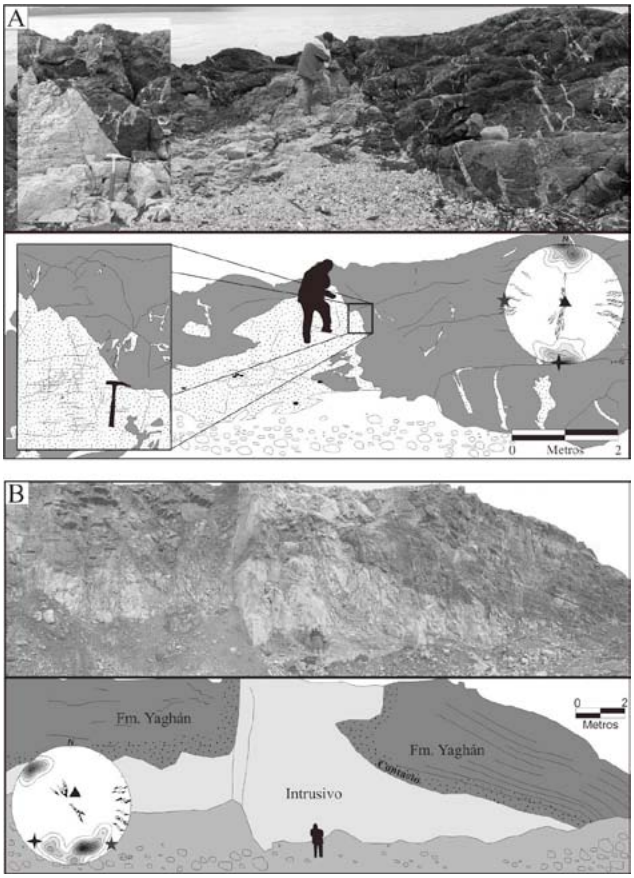


Figura 3: A) Afloramiento en la costa del canal de Beagle, de la facie mesosilícea, donde se observa a la izquierda un contacto neto entre ambas litologías y a la derecha varios juegos de venas de composición sienítica. En el estereograma se muestran las fallas normales que afectan al conjunto. Los puntos negros en el esquema señalan las perforaciones para la obtención de testigos orientados. B) Paredón labrado artificialmente en el que se observa el domamiento que genera un apófisis del intrusivo en la zona de la Península Ushuaia, conocida como Aeropuerto viejo. En el estereograma se muestran las actitudes de los bancos de la Fm. Yahgán.
El estereograma muestra el hemisferio inferior donde se indican los principales planos de falla asociados a los lineamientos. Los contornos Kamb de los planos de falla con estrías, son cada 2 sigmas. La orientación de los ejes de máximo stress (Sigma 1: Triángulo, Sigma 2: Diamante, Sigma 3: Estrella) fueron calculados con el método de inversión Angelier. El número de medidas (n) esta indicado por cada población estructural.

Estudio Geofísico

En los distintos perfiles de campo se extrajeron muestras de mano y testigos, obtenidos con una perforadora portátil y orientados con brújula magnética y solar, de las principales litología. Se tomaron 85 testigos orientados, correspondientes a los 7 sitios (indicados en la Figura 2b) y 5 sitios de la zona de la Península Ushuaia, eligiendo para esto, zonas que no estaban muy deformadas, ni fracturadas, como así también, se evitó tomar muestras en zonas con alteración meteórica. Se midieron datos estructurales que ayudaron a determinar y relacionar las principales estructuras regionales presentes en el área de estudio, utilizando como base las imágenes satelitales SPOT combinadas con un modelo de elevación digital (DEM).

Con el fin de contar con los datos necesarios (susceptibilidad magnética y remanencia) para el modelado en 3D, se practicó en el laboratorio las mediciones necesarias a los testigos de las distintas litologías. La determinación de la susceptibilidad magnética en laboratorio se realizó con un susceptibilímetro Bartington MS2 en testigos de las tres litologías presentes. Los valores de susceptibilidad magnética usados en el modelado se obtuvieron promediando los valores de 38 muestras de Hornblendita, 35 de Sienita y 12 de la roca de caja (Fm. Yahgán), provenientes de los 7 sitios de muestreo de la zona del Canal de Beagle. Los resultados de cada unidad geológica medida se presentan en la Tabla 1.

Unidad Geológica	Edad	Susceptibilidad Magnética [CGS]	σ	N
Hornblendita	Albiano-Cenomaniano	$5x10^{-3}$	$3x10^{-3}$	38
Sienita		$2,9x10^{-4}$	$5,2x10^{-4}$	35
Fm. Yahgán	Cretácico inferior	$8x10^{-5}$	$7x10^{-5}$	12
Fm. Lemaire	Jurásico Superior	$8x10^{-6}$(*)	--	--
Basamento metamórfico	Paleozoico	$1x10^{-6}$(*)	--	--

Tabla 1: Valores de susceptibilidad magnética medidas en el laboratorio, de las diferentes litologías en el área de Bahía Ushuaia, utilizadas para el modelado magnético. σ*: Desviación estándar (*) Susceptibilidades según Peroni 2006.*

La magnetización remanente natural (MRN), se determinó con un magnetómetro criogénico DC-squid (2G-750R) debido a que este dato es necesario para el modelado magnético. Los estereogramas de la figura 4 muestran la dirección de la magnetización remanente de cada sitio de muestreo. En la mayoría de los sitios, la magnetización es muy débil y dispersa (Tabla 2), salvo el sito Nº 7, perteneciente a la facie ultrabásica, que presenta la mayor intensidad promedio (2420 mA/m) y una dirección promedio de 90º en declinación y 3,8º en inclinación.

Sitio	Jr (mA/m)	Dec.	Incl.	α95	n	Q
1	1,8	22,7	-19,5	92,4º	6	$9,8x10^{-4}$
2	10,9	50,8	-0,3	87,9º	6	$5,5x10^{-3}$
3	210	351,3	-6	71,4º	8	0,1
4	307	27,3	-29,8	45,4º	8	0,15
5	115,6	253,9	-48,9	180º	8	0,05
6	152,7	69	-0,6	85,7º	6	0,09
7	2420	90	3,8	14,1º	7	1,23

Tabla 2: Medida de la intensidad de la magnetización remanente (Jr), su Declinación (Decl.) e Inclinación (Incl.) del promedio por sitio, y su intervalo de confianza (α *95). Se destaca la gran diferencia entre el sitio Nº7, donde predomina la hornblendita, el cual posee una intensidad de uno a dos órdenes de magnitud mayor.*

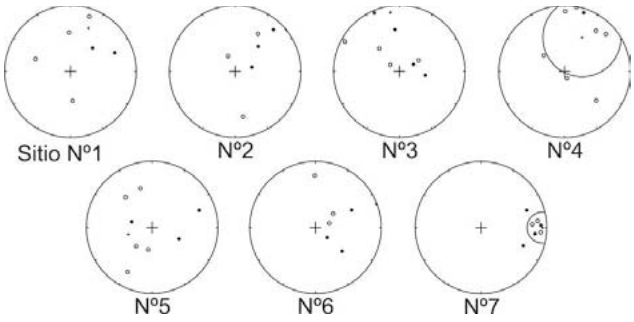


Figura 4: Estereogramas de las direcciones de magnetización remanente en los siete sitios de muestreos paleomagnéticos. Símbolos en negro (vector entrante) Símbolos en blanco (vector saliente).

En el resto sitios se observa un Q<1, por lo que la magnetización remanente no es de importancia en los afloramientos, donde domina la magnetización inducida debido a su alta susceptibilidad.

Procesamiento y elaboración de la información aeromagnética

Para este trabajo se utilizó como base la carta de anomalías aeromagnéticas, 5569-II (SEGEMAR, 1998) no reducida al polo (campo magnético total) (Figura 5.1) y reducida al polo (Figura 5.2), a escala 1:250.000, generadas a partir de un relevamiento aeromagnético definido con líneas de vuelo de altura nominal de 120 metros, de dirección N-S, con espaciamiento de 500 m. y líneas de control E-O con un espaciamiento de 5000 m. Para esto se digitalizaron las cartas aeromagnéticas, utilizando más de 10.000 puntos (georreferenciados) en cada una de ellas.

La digitalización de las cartas aeromagnéticas, permitió generar perfiles de dos dimensiones, en cualquier dirección. Los perfiles, de 55 Km de longitud y 10 Km de profundidad, utilizados en el modelado, fueron obtenidos de la carta aeromagnética 5569-II de campo magnético total, eligiendo una dirección N-S, con una equidistancia de 200 metros. La versión digital de la carta 5569-II, reducida al polo (Figura 5.2) permitió apreciar mejor la ubicación del intrusivo, como así también aproximar su forma y tamaño. La misma presenta una anomalía principal, en la zona de la Bahía Ushuaia que abarca unos 70 Km2, de forma elíptica en planta, con su eje mayor de 9.6 Km de longitud, en dirección ONO-ESE, y su eje menor, de 8,6 Km. Las curvas de isovalores, que varían desde los 1200 a los -60 nT, poseen una distribución asimétrica, con una mayor pendiente al este de la anomalía.

Esta misma anomalía, en la carta aeromagnética no reducida al polo (Figura 5.1), presenta un máximo al norte, con forma de campana asimétrica, y una intensidad de 350 nT, con un mínimo asociado, de forma elíptica, ubicado al sur, de -320 nT. Es interesante también mencionar la presencia de otra anomalía magnética de menor intensidad, al este de la descripta anteriormente, sobre la margen nororiental del río Encajonado, cercano al Cerro Trapecio (Figura 5.2), la cual posee un máximo de 20 nT rodeada por valores que rondan los -40 nT. A diferencia de la anomalía producida por el plutón Ushuaia, esta no varía tanto su forma en la carta reducida al polo (Peroni et al 2009).

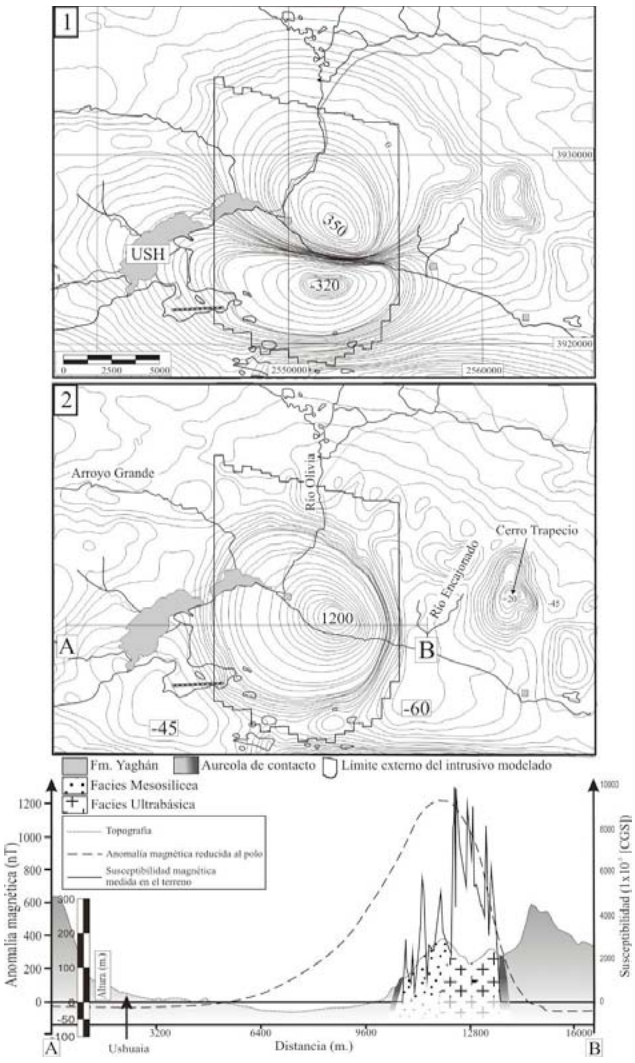


Figura 5: Comparación entre las cartas aeromagnéticas 5569-II no reducida al polo (Fig. 5.1) y reducida al polo (Fig. 5.2) y su posición respecto al intrusivo modelado (en proyección Gauss Krugger). Curva de isovalores cada 5 nT. Perfil A-B: corte de rumbo W-E, donde se relaciona la topografía (área gris), con la geología, la anomalía aeromagnética reducida al polo (línea segmentada) y la susceptibilidad magnética medida en el terreno (línea continua). Es notable la diferencia en los valores de susceptibilidad, en la hornblendita, en comparación con los de la roca de caja. USH: Ciudad de Ushuaia.

Modelado

Para el modelado se utilizó el software Encom ModelVision Pro 7.0 (Encom Technology, 2002), el cual permite modelar cuerpos en 3 dimensiones, utilizando datos como el Campo Geomagnético Internacional de Referencia (IGRF, 10ma generación, revisión 2004) de la zona de estudio, el valor de susceptibilidad magnética y la magnetización remanente de

cada uno de los cuerpos modelados. Este software emplea el algoritmo propuesto por Won y Bevis (1986), que calcula la anomalía magnética a través de un polígono de n-lados, en un espacio de dos dimensiones. El software permite el modelado magnético a partir de una serie de cuerpos simples (cubos, esferas, cilindros, etc.), como así también de una serie de polígonos, permitiendo así lograr una mejor correlación entre los datos medidos y los modelados.

Durante el modelado, se probó el caso extremo de elegir una remanencia para todo el plutón igual a la del sitio Nº7 (lo que equivaldría a un factor Q=1.23), pero un vector con esta dirección e intensidad, no produjo una modificación visible en la curva modelada. Por lo tanto, para este modelo, la anomalía magnética dependería casi exclusivamente de la susceptibilidad magnética (y en consecuencia, de la magnetización inducida).

Con el fin de poder diferenciar las anomalías locales de las regionales, se calculó un campo regional, mediante un polinomio de grado 1, que responde a la siguiente ecuación:

$R = a + bX + cY$

Donde $a = 33408{,}6$, $b = 2x10\text{-}3$ y $c = -0{,}0022$

Para lograr un mejor ajuste en la curva modelada, el volumen total se lo dividió en láminas verticales paralelas de 500 metros de espesor, de rumbo N-S, a las que se le fue modificando su geometría para lograr una mejor correlación entre la curva original y la modelada, utilizando el método de prueba y error. El cuerpo intrusivo modelado, esta representado por 20 secciones paralelas, las cuales están compuestas por dos litologías (facie mesosilícea y ultrabásica) y en su conjunto presentan forma de lacolito, con un espesor de 2000 metros en su parte central, coincidente con el área donde aflora, llegando a 5000 metros en la raíz ubicada al sur. Hacia los bordes disminuye, llegando a los 500 metros de espesor (Figura 6). El modelo está compuesto por 1130 facetas.

En el ambiente de emplazamiento se representó al Canal de Beagle, como una cuenca de 4 Km de ancho y 7 Km de profundidad rellena en su base por la Fm. Lemaire y sobre esta la Fm. Yahgán, como así también se representó valle de Tierra Mayor y las estructuras de flor positiva que lo generaron, que hace ascender una porción de basamento hasta unos 1500 metros de profundidad (modificado de Menichetti et al 2004).

El modelo propuesto, visto en planta, posee una superficie de 111 Km2, de los cuales, los afloramientos de la zona de la Bahía Ushuaia corresponderían solo a un 6%. Posee forma ovalada, con su eje mayor (de 12 km) en dirección N-S y su eje menor (de 10 km) en dirección E-O. El modelo posee un volumen aproximado de 150 Km3, de los cuales 86,2 Km3 corresponderían a la facie ultrabásica y 63,8 Km3 a la facie mesosilícea.

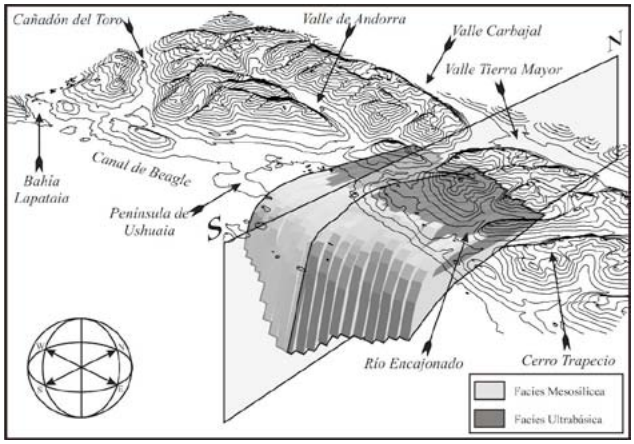


Figura 6: Vista en perspectiva, desde el SE, del intrusivo modelado y la topografía del área. Se distinguen las 20 secciones verticales en las que fue dividido el cuerpo. En gris se señala el perfil que se muestra en la Figura 7.

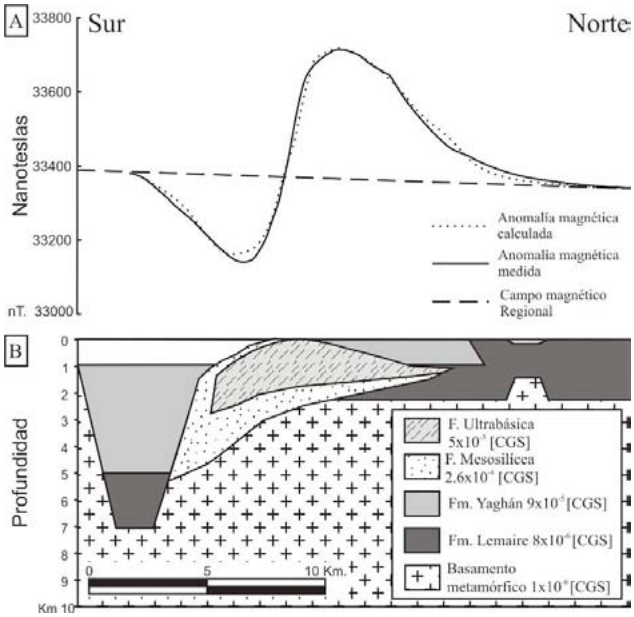


Figura 7: A) Perfil magnético. Línea continua: Anomalía aeromagnética. Línea punteada: valor de la anomalía magnética calculada mediante el modelado. Línea segmentada: campo magnético regional. B) Perfil en 2D del modelo numérico obtenido mediante el software Modelvision 7.0 y los valores de susceptibilidad magnética, de las diferentes unidades usadas para el modelado.

Discusiones Y Conclusiones

Una de las evidencias primarias de la similitud entre la anomalía magnética calculada y la medida, proviene de la forma comparable entre el modelo propuesto y la anomalía reducida al polo (Figura 5.1). Para poder comparar la exactitud de las grillas calculadas y medidas, el porcentaje de diferencias (%e) entre ambas se calculó de la siguiente

manera:

$$\%_e = \frac{(Xo - Xc)*100}{Xo}$$

Donde Xo representa el valor específico en un punto de la grilla original, y Xc corresponde al mismo punto de la grilla modelada. De este modo, los valores negativos indican que la grilla modelada presenta valores mayores a los que se observan en la grilla original. Estas diferencias son presentadas como un mapa de isolíneas en la Figura 8B. El porcentaje de diferencia oscila en valores menores al ±0,1%, por lo que se considera un buen ajuste.

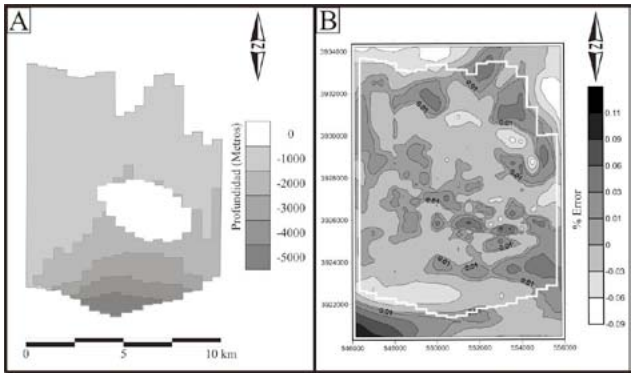


Figura 8: A: Isolíneas de batimetría del cuerpo intrusivo modelado. Línea de contornos cada 1000m. B: Isolíneas de porcentajes de la diferencia (%e) entre los valores calculados y medidos.

La anomalía aeromagnética podría ser causada en su mayoría por la alta susceptibilidad presente en la facie ultrabásica y en menor medida, en la facie mesosilícea del Plutón Ushuaia, como se observa en el perfil A-B de la figura 5, donde se compara la curva de la anomalía magnética reducida al polo con los valores de susceptibilidad medidos en el campo. Este dato también está sustentado por el valor bajo del coeficiente de Koenigsberger en las muestras medidas.

Si se comparan los afloramientos de este intrusivo, con los del sur del canal de Beagle, el Plutón Ushuaia, posee una menor exposición posiblemente a su mayor profundidad de emplazamiento. Mientras que en las Islas Hoste, Navarino e islas adyacentes existen numerosos y extensos afloramientos de rocas plutónicas, en la zona norte del canal, del lado argentino, solo se observan afloramientos de menor magnitud. Al este de la ciudad de Ushuaia, se encuentra lo que representaría la zona central del Plutón Ushuaia. Esto se interpreta a partir de los rasgos texturales de las rocas aflorantes en este sector y por la localización del área dentro de la anomalía aeromagnética. Las exposiciones del Plutón Ushuaia en el área de la Península Ushuaia, se interpretan como facies marginales (¿de techo?) del plutón, caracterizado por rocas de textura hipabisal, con bordes de enfriamiento en contacto con la caja de textura volcánica. Estas características petrográficas concuerdan también con la localización periférica de esta zona respecto a la anomalía aeromagnética.

Con respecto a la forma y tamaño del cuerpo modelado, el mismo estaría de acuerdo con modelos analógicos de intrusivos en zonas de fallas transcurrentes. (Corti et al. 2005). En estos modelos, en donde la intrusión ocurrió a lo largo de la falla maestra de rumbo, el espacio requerido por el magma ascendente, ha sido creado al desplazar la cubierta débil (en este caso la Fm. Yahgán). Esto podría explicar el abobedamiento de la caja, en el techo del plutón (Figura 3b).

Todos estos datos indicarían que el intrusivo podría haberse emplazado bajo un régimen transtensivo, a finales del Cretácico, que tuvo lugar en la zona del Canal de Beagle (Cunningham, 1993; Menichetti et al., 2008). Esta propuesta estaría sustentada por datos observados en el terreno, donde se observa que el cuerpo está afectado por fallas transtensivas y normales (Figura 2a).

Agradecimientos

Los fondos para este estudio fueron aportados por los proyectos PIP 5782 del CONICET y PICT 7-15185 de La Agencia Nacional Científica y Tecnológica. Nuestro agradecimiento al CADIC-CONICET por brindarnos apoyo logístico en la Ciudad de Ushuaia y a la Estación Astronómica Río Grande (EARG) por su apoyo logístico-técnico en el terreno.

Bibliografía

- Acevedo, R.D., (1996). Los mecanismos sustitutivos y los factores de evolución en los anfíboles de la Hornblendita Ushuaia, Tierra del Fuego. Revista de la Asociación Geológica Argentina, 51 (1), 69-77.
- Acevedo, R.D., Linares, E., Ostera, H. and Valín-Alberdi, M. L., (2002). Hornblendita Ushuaia (Tierra del Fuego): Petrografía, geoquímica y geocronología. Revista de la Asociación Geológica Argentina, 57 (2), 133-142
- Acevedo, R.D., Quartino, G.P., and Coto C.D., (1989). La intrusión ultramáfica de Estancia el Tunel y el significado de presencia biotita y granate en la Isla Grande de Tierra del Fuego. Fundación Miguel Lillo, San Miguel de Tucumán, Argentina. Acta Geológica Lilloana. 42 (1), 21-36.
- Acevedo, R.D.; Roig, C.E.; Linares, E., Ostera, H. A., Valín-Alberdi, M.L., Queiroga-Mafra, J.M., (2000). La intrusión plutónica del Cerro Jeu-Jepén. Isla Grande de Tierra del Fuego, República Argentina. Cuadernos do Laboratorio Xeolóxico de Laxe. A Coruña. España . Vol.25: 357-359.
- Alvarez-Marrón, J., McClay. K.R., Harambour. S., Rojas, L., Skarmeta, J., (1993) Geometry and evolution of the frontal part of the Magallanes Foreland Thrust and Fold Belt (Vicuna area), Tierra del Fuego. southern Chile, Am. Assoc. Petrol. Geol. Bull. 77. 1904-1921.

- Baraldo, A., Rapalini, A., Tassone, A., Lippai, H., Menichetti, M., Lodolo E., (2002). Estudio paleomagnético del intrusivo del cerro Hewhoepen, Tierra del Fuego, y sus implicancias tectónicas. 15° Congreso Geológico Argentino, El Calafate, Actas, 1, 285-290.
- Biddle, K. T., Uliana, M.A., Mitchum, R.M., Fitzgerald, M.G., Wright, R.C., (1986). The stratigraphic and structural evolution of the central and eastern Magallanes basin, southern South America. In: Allen, P.A., Homewood, P. (Eds.), Foreland Basins. Int. Assoc. Sediment. Spec. Publ. 8, 41–61.
- Bruhn, R.L., (1979). Rock structure formed during back-arc basin deformation in the Andes of Tierra del Fuego. Geological Society of America Bulletin 90, 998-1012
- Cerredo M.E., Remesal M.B., Tassone A. and Lippai H., (2005). The shoshonitic suite of Hewhoepen pluton, Tierra del Fuego, Argentina.XVI Congreso Geológico Argentino, La Plata., Actas (I), 539-544.
- Cerredo, M.E., Tassone, A., Coren, F., Lodolo, E. and Lippai, H.,(2000). Postorogenic, alkaline magmatism in the Fuegian Andes: The Jeujepen intrusive (Tierra del Fuego Islan) IX Congreso Geológico Chileno, Puerto Varas, Acta (2), 192-196.
- Corti, G., Moratti, G., Santi, F., (2005). Relation between surface faulting and granite intrusions in analogue models of strike-slip deformation. Journal of Structural Geology 27, 1547-1562.
- Cunningham, W. D., (1993) Strike-slip faults in the southernmost Andes and the development the Patagonian orocline. Tectonics, v. 12 (1), 169-186.
- Dalziel, I.W.D., de Wit, M.J., Palmer, F.K., (1974). Fossil marginal basin in the southern Andes. Nature 250, 291–294.
- Dalziel, I.W.D. (1981) Back-arc extension in the southern Andes: a review and critical reappraisal: Philosophical Transactions of the Royal Society of London, v. 300, 319-335.
- Dalziel, I.W.D. (1982) The early (pre-Middle Jurassic) history of the Scotia Arc region: a review and progress report. In: Craddock. C. (Ed.), Antarctic Geoscience, University of Wisconsin Press. Madison, 111-126.
- Dalziel, I.W.D., (1989) Tectonics of the Scotia Arc, Field trip uide, Vol. T180, 206pp. AGU, Washington, DC.
- Dalziel, I.W.D., Brown, R.L., 1989. Tectonic denudation of the Darwin metamorphic core complex in the Andes of Tierra del Fuego, southernmost Chile: implications for cordilleran orogenesis. Geology (17), 699–703
- Dalziel, I.W.D., Elliott, D.H., (1973). The Scotia Arc and Antarctic margin. In: Nairn, A.E.M., Stehli, F.G. (Eds.), The Ocean Basins and Margins vol. I: The South Atlantic. Plenum Press, New York, 171–245.
- Diraison, M., Cobbold, P. R., Gapais, D., Rossello, E. A. y Le Corre, C., (2000). Cenozoic crustal thickening, wrenching and rifting in the foothills of the southernmost Andes. Tectonophysics 316, 91-119.
- Encom Technology, (2002). ModelVision Pro v.7.0. Encom Technology, Sydney, Australia.
- Esteban F. (2008). Transecta geofísica a través de los Andes australes. Sector central de la Isla Grande de Tierra del Fuego. Argentina. Trabajo final de Licenciatura. Dpto. de Geología. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. Universidad de Buenos Aires.
- Esteban F., Rapalini A., Tassone A., Cerredo M.E., Vilas J.F., Lippai H., (2007). Magnetic fabric and microstructures across the Andes of Tierra del Fuego Geosur 2007. Simposio. Santiago de Chile. Actas.
- Fuenzalinda, R. H., (1972). Geológical correlation between the Patagonian Andes and the Antartic Peninsula a some tectonic implications. Master Thesis, 75 pp., Stanford Univ., Ca.
- Ghlione, M., Ramos, V.A., (2005). Progression of deformation and sedimentation in the southernmost Andes. Tectonophysics 405, 25-46.
- González Guillot, M., Seraphim, G., Acevedo, D., Escayola, M. Schalamuk, I. and Pimentel, M., (2005). El Plutón Diorítico Moat: Una Nueva Manifestación Del Batolito Patagónico Austral En La Provincia De Tierra Del Fuego, Argentina. XVI Congreso Geológico Argentino. 20-23 setiembre. La Plata, Buenos Aires. Argentina.
- Hervé F., Pankhurst R.J., Fanning C.M., Calderón M., Yaxley G.M., (2007). The South Patagonian Batholith: 150 My Of Granite Magmatism on A Plate Margin. Lithos 97, 373–394.
- Hervé, M., Suarez, M. and Puig, A., (1984). The Patagonian Batholith S of Tierra del Fuego, Chile: timing and tectonic implications. J, geol. Soc. London Vol. 141, 909-917.
- IGRF (10th Generation, revised 2004) Synthesis Form. British Geological Survey. http://www.geomag.bgs.ac.uk/gifs/igrf_form.shtml.
- Klepeis, K.A., (1994). Relationship between uplift of the metamorphic core of the southernmost Andes and shortening in the Magallanes foreland fold and thrust belt, Tierra del Fuego, Chile. Tectonics 13, 882–904.
- Kraemer, P.E., (2003). Orogenic shortening and the origin of the Patagonian orocline (56° S.Lat). Journal of South American Sciences 15, 731-748.
- Lodolo E., Menichetti M., Bartole R., Ben Avram Z., Tassone A. and Lippai H, (2003) Magallanes-Fagnano continental transform fault (Tierra del Fuego, Southernmost South America). Tectonics 22 (6), 1076, Doi: 1029/2003tc0901500,2003.
- Lodolo, E., Menichetti, M., Tassone, A., Geletti, R., Sterzai, P., Lippai H., Hormaechea, J. L., (2002)b. Researchers target a continental transform fault in Tierra del Fuego.

EOS, Transactions, American Geophysical Union, 83 (1), 1-4.
- Lodolo, E., Menichetti, M., Tassone, A., and Sterzai, P., (2002)a. Morphostructure of the central-eastern Tierra del Fuego Island from geological data and remote-sensing images. EDS Stephan Mueller Special Publication Series, EGS 2 (1), 1-16.
- Lodolo, E; Tassone, A; Menichetti, M; Lippai, H; Hormaechea, J.L; Ferrer, C and Connon G., (2001). The magallanes-Fagnano Fault System in the LAGO FAGNANO, Tierra del Fuego Island: morphology and Structure. European Geophysical Society (EGS). XXVI General Assembly. March. Nice. France. Symposium Se. 5.02, 25-30.
- Menichetti M., Acevedo R.D., Bujalesky G.G., Cenni M., Cerredo M. E., Coronato A., Hormachea J. L., Lippai H., Lodoso E., Olivero E.B., Rabassa J. and Tassone A., (2004). Field Trip guide of the Tierra del Fuego. Geosur meeting Buenos Aires 2004, 39 pp.
- Menichetti, M., Lodolo, E., Tassone, A. (2008). Structural geology of the Fuegian Andes and Magallanes fold and thrust belt: a reappraisal. GeoSur Special Issue. Geologica Acta. Vol. 6 (1), 19-42. ISSN 1695-6133.
- Menichetti, M., Tassone, A., Peroni, J. I., Gonzàlez Guillot, M., Cerredo M.E. (2007) Assetto strutturale, petrografia e geofisica della Bahía Ushuaia – Argentina. Rend. Soc. Geol. It. Nuova Serie 4, 259-262.
- Middlemost, E. A. K. 1994. Naming materials in the magma-igneous rock system. Earth Science Reviews (37): 215-224.
- Mukasa, S.B. and Dalziel, I.W.D. (1996) Southernmost Andes and South Georgia Island, North Scotia Ridge: zircon U-Pb and muscovite TMAr/39Ar age constraints on tectonic evolution of southwestern Gondwanaland. Journal ofSouth American Earth Sciences 9, 349-365.
- Natland, M.L., Gonzalez, E.,. Cañon, A.P, and Ernst, M.(1974) A systern of stages for the correlation of the Magallanes Basin sediments Geological Society of America Memoir 139, 126 pp.
- Olivero, E.B. and Malumián, N. (1999) Eocene stratigraphy of southeastern Tierra del Fuego island, Argentina. American Association of Petroleum Geologists, 83 (2), 295-313.
- Olivero, E.B., Malumián, N. (2008). Mesozoic – Cenozoic Stratigraphy of the Fuegian Andes, Argentina. Geologica Acta, 6 (1), 5-18 ISSN 1695-6133.
- Olivero, E.B. and Martinioni, D.R., (2001). A review of the geology of the Argentinian Fuegian Andes. Journal of Soth American Earth Science 14, 175-188.
- Olivero, E.B., Martinioni, D.R., Malumián N. and Palamarczuk, S., (1999). Bosquejo geológico de la Isla Grande de Tierra del Fuego, Argentina. 14º Congreso Geológico Argentino. Salta. Actas I, 291-294.
- Peroni J. I., (2006). Anomalía magnética en Bahía Ushuaia (Tierra del Fuego). Estudio Geofísico de la continuidad de las unidades geológicas en subsuelo. Trabajo final de Licenciatura. Dpto. de Geología. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. Universidad de Buenos Aires, pp. 90.
- Peroni J.I, Tassone A., Lippai H., Menichetti M., Lodolo E. and Vilas J.F., (2007) Geophysical Modeling Of The Kranck Pluton, Tierra Del Fuego, Argentina. Geosur 2007. International Geological Congress On The Southern Hemisphere Santiago De Chile - 19/20 November 2007. Libro de Resúmenes: 122.
- Peroni, J.I., Tassone, A, Menichetti, M., Lippai, H., Lodolo, E., Vilas, J.F. (2008). Geologia e geofisica del plutone Kranck (Lago Fagnano, Tierra del Fuego, Argentina). Rendiconti online della Societá Geologica Italiana 1, 132-136 ISSN 00871234.
- Peroni, J.I., Tassone, A., Menichetti, M., Lippai, H., F.,Vilas, J. F. (2009). Geologia e geofisica del plutone del Cerro Trapecio - Tierra del Fuego – Argentina. Rendiconti online Soc. Geol. It., Vol. 5, 160-163.
- Petersen, C.S., (1949). Informe sobre los trabajos de relevamiento geológico efectuados en Tierra del Fuego entre 1945 y 1948. Dirección General de Industria y Minería, Bs. As. Inédito.
- Rapalini, A.E., (2007). A paleomagnetic analysis of the Patagonian Orocline. Geologica Acta, Vol.5 (4), 287-294
- Rapalini, A.E., Lippai, H., Tassone, A., Cerredo, M.E., (2005). An AMS and paleomagnetic study across the Andes in Tierra del Fuego. 6th International Symposium on Andean Geodynamics (ISAG 2005, Barcelona), Extended Abstracts, 596-599.
- Servicio Geológico Minero Argentino (SEGEMAR). (1998). Levantamiento geofísico aéreo magnetometría aérea de Tierra del Fuego. Proyecto PASMA. Hoja Ushuaia 5569 II Escala 1:250.000.
- Tassone, A, Lippai, H., Lodolo, E., Menichetti, M., Comba, A., Hormaechea, J.L., Vilas, J.F., (2005)a. A geological and geophysical crustal section across the Magallanes-Fagnano fault in Tierra del Fuego and associated asymmetric basins formation. Journal South American Earth Sciences. Vol. 19: 99-109.
- Tassone, A., Lippai, H., Lodolo, E., Menichetti, M., Hormaechea, J., Rapalini, A., (2002) Estudio gravimétrico y magnetométrico aplicado a la evolución tectónica de la parte central de la Isla Grande de Tierra del Fuego. Argentina. XV Congreso Geológico Argentino. Calafate, Argentina. Vol. II, 280-284.
- Tassone, A., Lodolo E. and Grupo TESAC., (1999). Indicadores geofísicos sobre la localización del límite entre las placas Sud América-Scotia en Tierra del Fuego (Argentina). XIV Congreso Geológico Argentino. Salta. Actas I, 326-329.
- Tassone, A., Lodolo, E., Zanolla, C., Lippai H. and

Grupo TESAC, (1998). Relevamiento gravimétrico y magnetométrico a través de la Zona de Fractura Magallanes Fagnano (Tierra del Fuego). X Congreso Latinoamericano de Geología. Buenos Aires. Vol. II, 45

- Tassone, A., Peroni, J.I., Cerredo, M.E., Lippai, H., Vilas, J.F., (2006). Estudio geofísico del cuerpo intrusivo Ushuaia. Margen norte del Canal de Beagle, Argentina. XI Congreso Geológico Chileno. 7-11 de agosto, Antofagasta, Chile. Actas..
- Tassone, A., Peroni, J.I., Lippai, H., Lodolo, E., Vilas, J.F., Rapalini, A., (2005)b. Anomalías magnéticas de las áreas del cerro Hewhoepen y bahía Ushuaia. Tierra del Fuego. Argentina. XVI Congreso Geológico Argentino. 20-23 septiembre. La Plata, Buenos Aires. Argentina.
- Tassone, A., Peroni, J.I., Lippai, H., Menichetti, M., Lodolo, E., Vilas, J. F., (2007). Geophysical survey of the Fagnano pluton.. Tierra del Fuego. Argentina. International Union of Geodesy and Geophysics (IUGG). 2-13 July. Perugia. Italia.
- Winslow, M.A., (1982) The structural evolution of the Magallanes Basin and neotectonics in the southernmost Andes C, Craddock, ed., Antarctic geoscience: Madison, University of Wisconsin, 143-154.
- Won, I.J. and Bevis, M. G. (1987). Computing the Gravitational and Magnetic Anomalies due to a Polygon: Algorithms and Fortran subroutines. Geophysics, 52 (2), 232-238.
- Yardley, B. W. D., (1989) An introduction to metamorphic petrology. Longman Scientific & Technical (Ed.) pp:248.

ESTUDIO PRELIMINAR SOBRE PRECURSORES EN OBSERVACIONES DE ESPARCIMIENTO DE RANGO IONOSFÉRICO Y SU VINCULACIÓN CON LA PROPAGACIÓN DE ONDAS DE GRAVEDAD, EN LA CRESTA SUR DE LA ANOMALÍA ECUATORIAL

Michael Pezzopane (1)
Miguel A. Cabrera (2, 3)
Rodolfo G. Ezquer (2, 3, 4)
Enrico Zuccheretti (1)
Marta Mosert (5)
Luis. A. Scidá (3)
Graciela Molina (3)

(1) Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, Roma, Italia.
(2) CIASUR, Facultad Regional Tucumán, Universidad Tecnológica Nacional, Tucumán, Argentina.
(3) Laboratorio de Ionósfera, Dpto. de Física, FACET. Universidad Nacional de Tucumán, Argentina.
(4) Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET). Argentina.
(5) ICATE-CONICET, San Juan, Argentina. e-mail: mcabrera@herrera.unt.edu.ar

Palabras Claves

- ionosfera
- anomalía ecuatorial
- densidad de electrones
- ondas de gravedad

Resumen

Se presenta un estudio preliminar sobre la aparición de "trazas satélites" (ST) como un precursor antes de la observación del fenómeno de esparcimiento de rango (RSF) en una estación de sondaje ionosférico ubicada debajo de la cresta sur de la anomalía ecuatorial (EA). Los datos experimentales fueron obtenidos, de ionogramas en septiembre de 2007, con un sondador digital (AIS) desarrollado por el Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV) e instalado en la Facultad Regional de la Universidad Tecnológica Nacional (FRT-UTN) en la ciudad de San Miguel de Tucumán, Argentina (26.9°S, 294.6°E, 15.5°S Mag. Lat.). Los fenómenos de RSF están vinculados a irregularidades en la ionosfera, las que producen rápidos cambios en amplitud y fase de radio señales en la propagación transionosférica; produciendo un efecto conocido como centelleo que puede afectar seriamente la exactitud en el posicionamiento global por satélites (GPS), muy utilizadas en aplicaciones de geodesia y geofísica.

Para el período considerado en este estudio, se observa en ionogramas que las ST pueden ser consideradas como un precursor de la ocurrencia de RSF. Análisis efectuados en contornos de iso-altura para valores de densidad de electrones estarían indicando la relación entre ocurrencia de RSF y la propagación de ondas de gravedad (GW).

Introducción

Las trazas de esparcimiento de la región F (o spread F) en los ionogramas, son la manifestación de irregularidades ionosféricas en la región F. Estas irregularidades causan rápidos cambios tanto en fase como en amplitud en la señal de radio que viaja a través de ellas, produciendo centelleo que degradan seriamente las radio comunicaciones transionosféricas. Debido a que los estudios sobre centelleo son esenciales para formular modelos de predicción [Wernik et al., 2007], es muy importante mejorar nuestro conocimiento sobre el comportamiento de esas irregularidades que producen el centelleo. El eco de esparcimiento es usualmente categorizado en dos tipos principales, el esparcimiento de rango (RSF) y el esparcimiento de frecuencia (FSF) [Piggott and Rawer, 1972], aun cuando muchos autores hacen mas subdivisiones en RSF-I, RSF-II y FSF-II [Chen et al., 2006]. El cinturón ecuatorial entre las latitudes 20ºN y 20ºS es una zona bien definida donde el esparcimiento de la capa F tiene una ocurrencia normal que ha sido descripta y profundamente estudiada desde los años cincuenta [Wright, 1959; Cohen and Bowles, 1961; Balsley et al., 1972; Aarons, 1978; Fejer et al., 1979; Argo et al., 1986; Mendillo et al., 1992; Whalen, 2000; McNamara et al., 2008]. Esto es porque, mientras la elevación de la capa F ecuatorial del post atardecer (PSSR) es bien correlacionada climatológicamente con el esparcimiento de la capa F (ESF) [Fejer et al. 1999; Hysell and Burcham, 2002], la variabilidad del ESF día a día sigue siendo un enigma.

Tsunoda [2005; 2008; 2009] y Tsunoda y Ecklund [2007], señalaron que las estructuras de ondas de gran escala (LSWS), en la base de la capa F, son algo importante que debe ser tenido en cuenta para resolver este rompecabezas. Ellos mostraron como la aparición de la LSWS puede evolucionar en una nube o pluma y por lo tanto en una burbuja de plasma

(PB) y demostró, usando datos del radar incoherente de Jicamarca y datos de la ionosonda de Kwajalein Atoll, Islas Marshall, que el ST y los ecos multireflejados pueden ser considerados como precursores de LSWS en un ionograma. El ST en ionogramas en zona ecuatorial, aparece como una o más cuasi réplicas de la traza F a alturas virtuales desplazadas antes del comienzo del ESF y son posiblemente producidas por reflexiones oblicuas en placas onduladas emergentes, esto es corrugados de la superficie de isodensidad de electrones. Este fenómeno fue muy bien ilustrado por Tsunoda [2008] quien dio mas evidencias, además de las mencionadas por Wright [1959], Lyon [1961], Abdu et al. [1981], y McNamara et al. [2008], de que las ST son un precursor característico de ESF sobre la región ecuatorial.

Abdu et al. [1982] fueron los primeros en ilustrar la ocurrencia de ST en los ionogramas y su posible relación la ocurrencia de RSF, en proximidades de la cresta sur de la anomalía ecuatorial (EA). El rol que juegan las estructuras horizontales de gran escala en la interpretación de la variabilidad día a día de la ESF fue además investigado por Fukao et al. [2006]. Ellos supusieron que las estructuras longitudinales generadas por ondas de gravedad (GW), pueden modificar significativamente el plasma ionosférico y encontraron que PBs múltiples se forman generalmente a distancias de varios cientos de kilómetros de ellas.

Considerando las características de propagación de las GW, Klausner et al. [2009] presentaron un importante trabajo ilustrando su variación estacional en la cresta sur de la EA. Este trabajo es un primer intento de estudiar de una manera más cuantitativa la ocurrencia de ST, la variabilidad día a día del RSF y la propagación de las GW en la cresta sur de la EA, para buscar una posible correlación entre ellas.

Experimentación

Se usaron ionogramas obtenidos en Septiembre de 2007 (año de baja actividad solar) en la nueva estación ionosférica de Tucumán, Argentina (26.9°S, 294.6°E, 15.5°S Mag. Lat.) [Pezzopane et al., 2007] donde se instaló una ionosonda AIS-INGV [Zuccheretti et al., 2003] en Agosto de 2007. La secuencia de sondeo de la ionosonda está actualmente establecida en una rutina de 15 minutos. Consideramos datos de Septiembre de 2007 porque en aquel momento la secuencia de sondeo era de 5 minutos, mucho más adecuada para rastrear la evolución temporal de los ST que son del orden de unos pocos minutos. El rango de frecuencia de barrido, fue establecido en 1.5MHz a 15MHz.

Análisis y resultados

Los ionogramas registrados en Tucumán en Septiembre de 2007, han sido analizados para determinar la ocurrencia de los ecos de RSF. Hemos limitado nuestro estudio a los ecos de RSF, porque se encontró que las ST son precursores necesarios para la formación de irregularidades SF que dan lugar a las RSF; las FSF son por otra parte observadas bajo circunstancias diferentes [Abdu et al., 1981; Fagundes et al., 2007].

La Tabla 1 muestra los 6 días en los cuales aparecen RSF en los ionogramas (en la Figura 1 el desarrollo del RSF para el día 247) con su correspondiente tiempo universal (UT) de inicio y finalización y muestra además cuando ST es visible antes de la aparición de RSF, con la UT de su primera ocurrencia. La segunda columna da el índice interplanetario Ap.

Día	Ap	ST inicio	RSF inicio	RSF final
247	5	04:50	05:10	06:45
248	10	No ST	04:55	07:10
254	2	03:25	04:15	06:00
258	4	03:20	04:50	06:00
262	3	03:05	04:20	05:30
266	16	No ST	08:55	09:55

Tabla 1. Hora universal de inicio y final de RSF en Tucumán, días 244-273, 2007.

Para los 6 casos mencionados en Tabla1 vale la pena señalar que, independientemente de la aparición de ST, una traza difusa de esparcimiento F parcialmente formado está presente en el modo de segundo orden. Esto es coherente con el hecho de que las trazas de esparcimiento aparecen a menudo a grandes distancias y pasan a rangos de distancias más pequeñas a medida que el tiempo transcurre. Con respecto a la Tabla 1, lo más importante a destacar es sin embargo, que todas las trazas RSF aparecen mucho después de la puesta del sol local, que en este mes se produce en promedio a las 19:00 LT (UT - 4), lo que sugiere a la vez que PSSR no puede considerarse como la única causa de la aparición de RSF sobre el ionograma y que un proceso de activación asociado con PSSR es necesario para causar irregularidades responsables del desarrollo de RSF. En apoyo de este argumento, en la Figura 2 se muestran los valores escalados manualmente de la h'F2 nocturna (altura de la base de la capa F2) a una frecuencia de 3 MHz [h '(3MHz)] para las noches con (día 247, 248, y 262) y sin (250) RSF. El PSSR más pronunciado es el del día 250, un día sin RSF. Esto es para destacar que PSSR no puede ser considerado el único responsable del desarrollo de RSF, sino que parece ser necesaria la activación de procesos asociados.

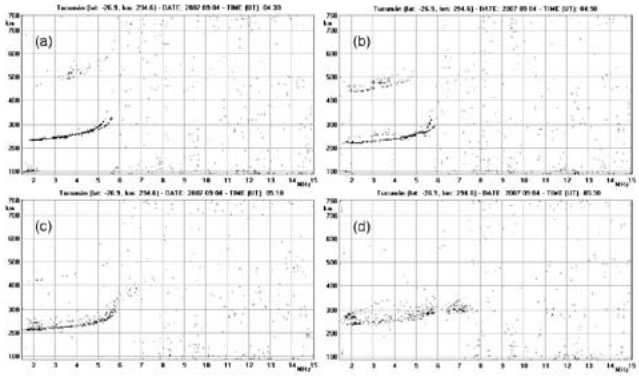


Fig. 1. Ionogramas día 247 de 2007; (a) huella difusa en el modo de segundo orden, (b) primera aparición de ST junto al extremo de baja frecuencia de la modalidad de primer orden,(c) comienzo de RSF, y (d) RSF plenamente desarrollado.

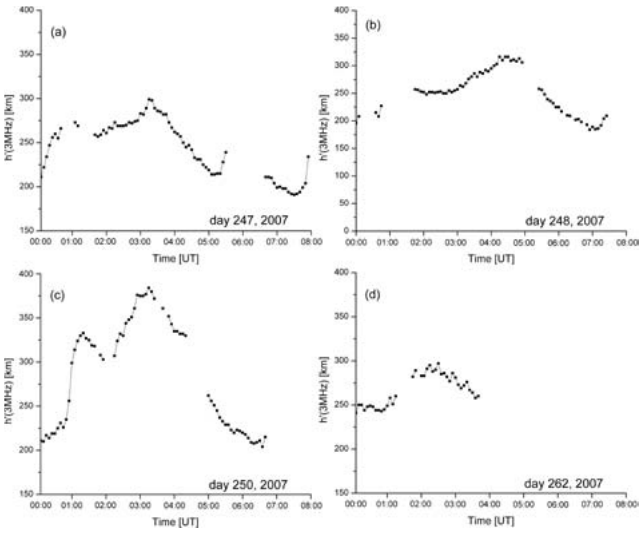


Fig. 2. Alturas virtuales escaladas a 3 MHz [h'(3MHz)] para días (247, 248, 262) con RSF y (250) sin RSF.

Una vez que fueron aislados los días en que se produjeron RSF, las correspondientes trazas del ionograma fueron digitalizadas manualmente obteniendo así un perfil de densidad de electrones (N, h') para cada ionograma, donde N es la densidad de electrones y h' la altura virtual de reflexión. Entonces, la inversión del perfil (N, h') al perfil (N, h), donde h es la altura real de reflexión, se realizó utilizando el programa POLAN [Titheridge, 1988]. Por ello, de los perfiles (N, h) se obtuvieron curvas isoalturas N (h = cost = 210, 220, 230, 240, 250 km). En las figuras 3a, 3b y 3d estas curvas se trazan desde las 00:00 hasta las 08:00 UT para los días 247, 248, y 262. Hemos centrado nuestra atención en este intervalo de tiempo, ya que comprende tanto la ST como las apariciones posteriores RSF. Son visibles oscilaciones cuasi-periódicas para el día 247 01:00-03:00 UT, y para el día 262 desde 00:00 hasta 01:00 UT. Variaciones máximas y mínimas de N tienen lugar primero a 250 km y luego a menor altura lo que muestra una propagación de la fase descendente, que es característica de la propagación de GW en la región de la ionosfera F [Hines, 1960]. Por el contrario para el día 248 (aparición de RSF, pero no de ST) no se observan oscilaciones cuasi-periódicas. Para tener una visión global del problema también se digitalizaron manualmente ionogramas de días donde no hay ocurrencia de RSF y la figura 3c muestra las curvas isoaltura de uno de estos días (250). También en este caso no se observan oscilaciones cuasi-periódicas.

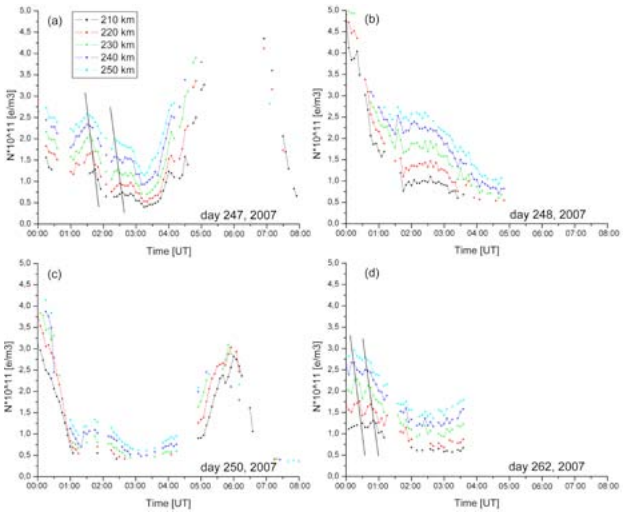


Fig. 3. Variación de la densidad de electrones para alturas reales de 210, 220, 230, 240, y 250 km para los días (a) 247, (b) 248, (c) 250, y (d) 262, 2007 desde 00:00 hasta 08:00 UT. La falta de datos que caracterizan (a), (b) y (d) se debe a la aparición de RSF que evitó que el operador digitalice la traza.

Discusión y conclusiones

En este trabajo hemos investigado la aparición de RSF en la cresta sur de la anomalía ecuatorial a partir de datos de ionosonda registrados en septiembre de 2007 en la nueva estación ionosférica de Tucumán, y encontramos 6 casos de trazas de RSF en 6 días diferentes.

El análisis de las curvas N (h = cost), se encontraron trazas de GW para días caracterizados por ocurrencias de RSF y ST (Figuras 3a y 3d). La hora UT de esas trazas sugieren que para esos casos las GW son inducidas por el paso del terminador solar [Somsikov and Ganguly, 1995; Galushko et al., 1998]. Para los otros días, no caracterizados por ocurrencia de RSF (Figura 3c) o caracterizados por ocurrencia de RSF pero sin aparición de ST (Figura 3b), no se encontraron trazas de propagación de GW. Se ha demostrado que las trazas de SRF en los ionogramas son el resultado de la dispersión coherente de irregularidades principalmente en las placas de un PB ecuatorial [Sales et al., 1996]. Por lo tanto, conjeturando que los ecos de RSF son trazas de PBS, mirando la hora UT de la ocurrencia de RSF que se muestra en la Tabla 1 y la UT de la propagación de GW, pareciera ser que para los casos de RSF de los días 247, 254, 258 y 262 esas irregularidades son generadas localmente. En efecto en esos casos las ST son debidas a la corrugación de la superficie de isodensidad de electrones causada por la propagación de las

GW, que, a su vez, puede ser pensado como el mecanismo que, amplificando las fuentes de irregularidades sembradas por el post ocaso, como la aparición de un campo eléctrico hacia el este durante PSSR de la capa F [Fejer et al. 1999; Hysell and Burcham, 2002], da lugar a los PBs responsables de las trazas de RSF que tienen lugar en el ionograma. El caso de RSF del día 248 es en sí mismo, probablemente generado localmente, pero el proceso de activación responsable del desarrollo de PB es de otro tipo, de seguro no relacionados con los fenómenos magnéticos, al igual que el penetrante campo eléctrico magnetosférico, ya que la actividad magnética fue baja, como se ilustra en la Tabla1.

Por el contrario, el RSF que se produjo el día 266 es probablemente debido a las irregularidades generadas lejos del lugar de observación y que derivan a lo largo de las líneas de campo magnético dentro del campo de vista de la ionosonda, como se ilustra de una manera muy amplia por Whalen [2000].

Nuestro análisis mostró por lo tanto que la aparición de RSF en el pico sur de la EA, que se anunció decenas de minutos antes por la aparición de ST, parece estar vinculada a la propagación de GW a través de la región F provocadas por el terminador solar. En estos casos, en efecto ST puede considerarse como un indicador de la propagación de GW que, a su vez, junto con la fuente de la siembra PSSR es responsable del desarrollo de PB, responsable de trazas de RSF sobre el ionograma.

Además, cuando no se produce RSF, no se observa propagación de GW mediante el análisis de las curvas de iso-altura.

Otros análisis de conjuntos de datos más amplios son necesarios, sin embargo, para considerar este proceso como plenamente establecido.

Bibliografía

- Aarons, J., J. Buchaw, S. Basu, and J. P. McClure, The localized origin of equatorial F region irregularity patches (1978), J. Geophys. Res., 83, 1659-1664.
- Abdu, M. A., I. S. Batista, and J. A. Bittencourt (1981), Some characteristics of spread F at the magnetic equatorial station Fortaleza, J. Geophys. Res., 86, 6836– 6842.
- Abdu, M. A., I. S. Batista, I. J. Kantor, and J. H. A. Sobral (1982), Gravity wave induced ionization layers in the night F-region over Cachoeira Paulista (22°S, 45°W), J. Atmos. Terr. Phys., 44, 759-767.
- Argo, P. E., and M. C. Kelley (1986), Digital ionosonde observations during equatorial spread F, J. Geophys. Res., 91, 5539– 5555.
- Balsley, B. B., G. Haerendel, and R. A. Greenwald (1972), Equatorial spread F: Recent observations and a new interpretation, J. Geophys. Res., 77, 5625-5628.
- Chen, W. S., C. C. Lee, J. Y. Liu, F. D. Chu, and B. W. Reinisch (2006), Digisonde spread F and GPS phase fluctuations in the equatorial ionosphere during solar maximum, J. Geophys. Res., 111, A12305, doi:10.1029/2006JA011688.
- Cohen, R., and K. L. Bowles (1961), On the nature of equatorial spread F, J. Geophys. Res., 66, 1081-1106.
- Fagundes, P. R., V. Klausner, Y. Sahai, V. G. Pillat, F. Becker-Guedes, F. C. P. Bertoni, M. J. A. Bolzan, and J. R. Abalde (2007), Observations of daytime F2-layer stratification under the southern crest of the equatorial ionization anomaly region, J. Geophys. Res., 112, A04302, doi:10.1029/2006JA011888.
- Fejer, B. G., D. T. Farley, R. F. Woodman, and C. Calderon (1979), Dependence of equatorial F region vertical drift on season and solar cycle, J. Geophys. Res., 84, 5792-5796.
- Fejer, B. G., L. Scherliess, and E. R. de Paula (1999), Effects of the vertical plasma drift velocity on the generation and evolution of equatorial spread F, J. Geophys. Res., 104, 19859-19869.
- Fukao, S., T. Yokoyama, T. Tayama, M. Yamamoto, T. Maruyama, and S. Saito (2006), Eastward traverse of equatorial plasma plumes observed with the Equatorial Atmosphere Radar in Indonesia, Ann. Geophys., 24, 1411-1418.
- Galushko, V. G., V. V. Paznukhov, Y. M. Yampolski, and J. C. Foster (1998), Incoherent scatter radar observations of AGW/TID events generated by the moving solar terminator, Ann. Geophys., 16, 821–827.
- Hines, C. O. (1960), Internal atmospheric gravity waves at ionospheric heights, Can. J. Phys., 38, 1441-1481.
- Hysell, D. L., and J. Burcham (2002), Long term studies of equatorial spread F using the JULIA radar at Jicamarca, J. Atmos. Sol. Terr. Phys., 64, 1531-1543.
- Klausner, V., P. R. Fagundes, Y. Sahai, C. M. Wrasse, V. G. Pillat, and F. Becker-Guedes (2009), Observations of GW/TID oscillations in the F2 layer at low latitude during high and low solar activity, geomagnetic quiet and disturbed periods, J. Geophys. Res., 114, A02313, doi:10.1029/2008JA013448.
- Lyon, A. J., N. J. Skinner, and R. W. Wright (1961), Equatorial spread-F at Ibadan, Nigeria, J. Atmos. Terr. Phys., 21, 100-119.
- McNamara, L. F., J. M. Retterer, M. A. Abdu, I. N. Batista, and B. W. Reinisch (2008), F2 Peak parameters, drifts and spread F derived from digisonde ionograms for the COPEX campaign in Brazil, J. Atmos. Sol. Terr. Phys., 70, 1144-1158, doi:10.1016/j.jastp.2008.02.001.
- Mendillo, M., J. Baumgardner, X Pi, P. J. Sultan, and R. T. Tsunoda (1992), Onset conditions for equatorial spread-F,

J. Geophys. Res., 97, 13865-13875.
- Pezzopane, M., E. Zuccheretti, C. Bianchi, C. Scotto, B. Zolesi, M. A. Cabrera, and R. G. Ezquer (2007), The new ionospheric station of Tucumán: first results, Ann. Geophys.-Italy, 50(3), 483-492.
- Piggot, W. R., and K. Rawer (1972), URSI Handbook of Ionogram Interpretation and Reduction, 2nd ed., 325 pp., Elsevier, New York.
- Sales, G. S., B. W. Reinisch, J. L. Scali, C. Dozois, T. W. Bullet, E. J. Weber, and P. Ning (1996), Spread F and the structure of equatorial ionization depletions in the southern anomaly region, J. Geophys. Res., 101, 26819-26827.
- Somsikov, V. M., and B. Ganguly (1995), On the formation of atmospheric inhomogeneities in the solar terminator region, J. Atmos. Terr. Phys., 57(12), 1513–1523.
- Titheridge, J. E. (1988), The real heigt analysis of ionograms: a generalized formulation, Radio Sci., 5, 831-849.
- Tsunoda, R. T. (2005), On the enigma of day-to-day variability in equatorial spread F, Geophys. Res. Lett., 32, L08103, doi:10.1029/2005GL022512.
- Tsunoda, R. T. (2008), Satellite traces: An ionogram signature for largescale wave structure and a precursor for equatorial spread F, Geophys. Res. Lett., 35, L20110, doi:10.1029/2008GL035706.
- Tsunoda, R. T. (2009), Multi-reflected echoes: Another ionogram signature of large-scale wave structure, Geophys. Res. Lett., 36, L01102, doi:10.1029/2008GL036221.
- Tsunoda, R. T., and W. L. Ecklund (2007), On the post-sunset rise of the equatorial F layer and superposed upwelling and bubbles, Geophys. Res. Lett., 34, L04101, doi:10.1029/2006GL028832.
- Wernik, A. W., L. Alfonsi, and M. Materassi (2007), Scintillation modeling using in situ data, Radio Sci., 42, RS1002, doi:10.1029/2006RS003512.
- Whalen, J. A. (2000), An equatorial bubble: Its evolution observed in relation to bottomside spread F and to the Appleton anomaly, J. Geophys. Res., 105, 5303-5315.
- Wright, R. W. H. (1959), Geomorphology of spread F and characteristics of equatorial spread F, J. Geophys. Res., 64, 2203–2207.
- Zuccheretti, E., G. Tutone, U. Sciacca, C. Bianchi, and B. J. Arokiasamy (2003), The new AIS-INGV digital ionosonde, Ann. Geophys.-Italy, 46(4), 647–659.

GEOMORFOLOGÍA DINÁMICA EN DEPÓSITOS CUATERNARIOS DEL VALLE DE ZONDA PARA EL ORDENAMIENTO TERRITORIAL. PROVINCIA DE SAN JUAN

M. Alejandra Pittaluga (1)
Graciela M. Suvires (2)
(1) Gabinete de Geología Ambiental – INGEO Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales – UNSJ. mapitta@unsj.edu.ar
(2) CONICET y Gabinete de Geología Ambiental – INGEO Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales – UNSJ. graciela_suvires@yahoo.com.ar

Palabras Claves
- Geomorfología
- Dinámica Geomorfológico
- Valle Intermontano
- Zonda

Resumen
El valle de Zonda se ubica en el departamento homónimo distante aproximadamente 30 Km. hacia el oeste de la ciudad capital de San Juan. El departamento Zonda constituye uno de los más importantes en la provincia por su atractivo turístico, su potencial económico y cercanía a la ciudad capital. El objetivo del presente estudio consiste en identificar, clasificar y cartografiar las unidades geomorfológicas cuaternarias que integran el valle de Zonda, con sus distintos procesos morfodinámicos, a fin de proponer lineamientos para el desarrollo territorial.

El valle de Zonda constituye una unidad morfogenética con características distintivas. El relleno de este valle lo conforman depósitos cuaternarios de origen fluvial y aluvial que se extienden en un gran abanico con una superficie aproximada a 100 Km2. Esta geoforma ha sido acotada por la elevación de las Lomas de Ullum-Las Tapias y la Sierra Chica de Zonda, que han impedido la dispersión o extensión de los sedimentos de este abanico. Las unidades geomorfológicas mapeadas son: Piedemonte de la Sierra Alta de Zonda (unidad A); Piedemonte de la Sierra de Marquesado (B); Piedemonte de la Sierra Chica de Zonda (C), remantes de antiguos depósitos lacustres (D); abanico aluvial: sector proximal (E.), sector medio (F) y porción distal. Este último sector tiene dos subdivisiones territoriales de acuerdo a la presencia del agua en profundidad. (G) Y en superficie (H), Cauce actual del río San Juan (I) Y Planicie Aluvial del río seco de la Cienaga (J).
El relevamiento geomorfológico contempla además una síntesis de los procesos morfodinámicos que actúan en la región tales como: a. erosión fluvial lateral y vertical en los arroyos y aluvionamientos por crecientes estivales, que afectan las áreas pobladas y cultivadas cercanas al piedemonte; b. procesos de anegamiento y desecación por fluctuaciones de la capa freática y c. desbordes e inundaciones potenciales del cauce actual del río San Juan. Las distintas unidades territoriales brindan 9 (nueve) sectores con distintas capacidades potenciales de usos de la tierra.

Introducción
La provincia de San Juan, presenta aproximadamente el 80% de su superficie total ocupada por cordones montañosos que conforman, de Oeste a Este, las estribaciones de Cordillera Frontal, Precordillera y Sierras Pampeanas.

Estos sistemas serranos se encuentra separados entre si por depresiones tectónicas longitudinales (valles) rellenas con potentes sedimentos de edad cuaternaria, producto de la elevación de los cordones montañosos con el consecuente aporte de sedimentos hacia el centro de estas depresiones. Estos extensos valles longitudinales constituyen, dentro del ámbito de la provincia, verdaderos oasis o sitios de mayor aptitud para los asentamientos humanos y el consecuente desarrollo agrícola industrial.

El Valle de Ullum Zonda constituye un ejemplo concreto de lo anteriormente citado, conforma una zona tectónicamente deprimida, limitado hacia el oeste por la Sierra alta de Zonda y hacia el este por las lomas de las Tapias y la Sierra Chica de Zonda.

En la presente contribución se realizará un análisis geomorfológico de la porción sur de esta unidad, conocido como Valle de Zonda. El análisis de los antecedentes de la zona, el procesamiento de imágenes y el apoyo de campo, permitió detectar un avance de la actividad antrópica sobre las unidades geomorfológicas sin ningún tipo de control, estudio detallado u ordenamiento, lo que supone un riesgo latente sobre estos pobladores. Por todo esto un análisis geomorfológico del área constituye una valiosa herramienta que permite mostrar las diferencias entre las distintas unidades territoriales y sus probables usos.

El objetivo del presente estudio consiste en identificar, clasificar y cartografiar las unidades geomorfológicas cuaternarias que integran el valle de zonda y el comportamiento dinámico de las mismas, estableciendo la asociación entre las geoformas y los procesos naturales para establecer un mejor uso de las mismas.

Metodología

Los asentamientos humanos dentro del territorio nacional están ubicados principalmente sobre depósitos de edad cuaternaria. La cartografía de estas unidades permite hacer recomendaciones sobre posibilidades de uso y establecer planes de desarrollo sustentable.

La metodología para cartografiar cuaternario se sustenta principalmente en el análisis geomorfológico, sedimentológico y pedológico. Las clasificaciones sistemáticas geomorfológicas son conocidas a través de diferentes escuelas: Tricart (1965), James (1950), Van Zuidam (1977), Sayago (1982) entre otros. Estos consideran al relieve como un elemento prioritario y esencial para la caracterización de otros elementos como suelo y vegetación.

En este caso particular se utilizó el método de análisis geomorfológico propuesto por Sayago (1982), que establece una jerarquización de las unidades geomorfológicas, partiendo del conocimiento de que "el relieve constituye el esqueleto del paisaje natural y es un factor condicionante de la dinámica y la evolución del mismo".

Esta jerarquía propone la división de las unidades en Provincia, Región, Asociación y Unidades geomorfológica. Se realizó una fotointerpretación y procesamiento de imágenes satelitales, a lo que se le sumo el apoyo de campo consistente en varias campañas con el fin de corroborar los limites de estas unidades interpretadas.

Se obtuvo así un cuadro y el consecuente mapa de unidades morfogenéticas regionales con la correspondiente jerarquía geomorfológica a los que se le sumo la dinámica de la región y el reconocimiento de algunos procesos naturales.

Ubicación del área de estudio

El valle de zonda se ubica al oeste de la ciudad de San Juan, distante aproximadamente 30 Km de la ciudad capital, en la zona centro –sur de la provincia, tiene un largo aproximado de 30 Km. de largo por 25 Km. de ancho (Figura 1).

El relleno de este valle es en toda su extensión, lo conforman depósitos cuaternarios de origen aluvial conformando un gran abanico de unos 100 Km2 aproximadamente. Esta geoforma ha sido acotada por la elevación de las lomas de Ullum y la Sierra Chica de Zonda, que han impedido la dispersión o extensión de los sedimentos de este abanico (Suvires-Zambrano, 2000) conformando un espesor total de estos depósitos cuaternarios, en algunos sectores, del orden de los 1000 m., según datos geoeléctricos, sumado a un hundimiento tectónico.

Litológicamente este abanico esta conformado predominantemente por gravas y arenas con la excepción de depósitos limo-arcillosos recostados sobre estas elevaciones que indicarían la presencia de cuerpos de agua someros y estancos.

La mayoría de las unidades geomorfológicas presentan evidencias de la influencia climática, que condiciona los procesos naturales actuales y la dinámica geomorfológica, con precipitaciones anuales inferiores a los 100 mm y las temperaturas media anual promedio de 18º C.

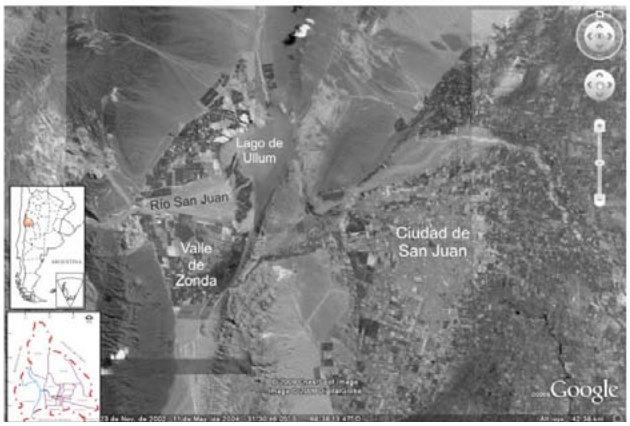


Figura 1: Ubicación área de estudio.

Unidades Geomorfológicas

Las condiciones geológicas paleambientales, durante el cuaternario, están reflejadas en la granulometría y el espesor de los depósitos de esta edad. Diversos autores (Clapperton, 1993, Milana 1994, Lloret y Suvires 2006), relacionan estas características con estadios de derretimiento de glaciares que cubrían las estribaciones de la Cordillera de Los Andes.

En la tabla 1, se muestran las distintas unidades geomorfológicas, diferenciadas según la jerarquización adoptada. En función de esto se propone la siguiente clasificación: La depresión del Ullum-Zonda, es una extensa cuenca con relleno sedimentario cuaternario que superan los 1000 m de espesor y se extiende entre las dos provincias geomorfológicas de Precordillera Central y Precordillera Oriental, pero no pertenece a ninguna de ellas por lo que admite ser clasificada como una región geomorfológica individual.

Provincia Geomorfológica	Región Geomorfológica	Asociación Geomorfológica	Unidad Geomorfológica
RECORDILLERA CENTRAL	Cerro Blanco	No diferenciados	
	Sierra Alta de Zonda	No diferenciados	
	Flanco Oriental Sierra Alta de Zonda	Coluvio-aluvial de fajas peri serranas	Piedemonte de la Sierra Alta de Zonda - **A**
RECORDILLERA ORIENTAL	Sierra de Marquesado	No diferenciados	
	Flanco Occidental Sierra de Marquesado	Coluvio-aluvial de fajas peri serranas	Piedemonte de la Sierra de Marquesado - **B**
	Sierra Chica de Zonda	No diferenciados	
	Flanco Oriental Sierra Chica de Zonda	Coluvio-aluvial de fajas peri serranas	Piedemonte de la Sierra Chica de Zonda - **C**
		Lacustres de borde de cuenca	Antigua planicie lacustre- **D**
DEPRESIONES TECTÓNICA INTERMOTANAS	Valle de Zonda	Fluvial del río San Juan	Sistema Abandonado .1. Paleoabanico sector Proximal- **E** **.2.** Paleoabanico sector Medio - **F** .3. Paleoabanico sector distal con agua en profundidad - **G** .4. Paleoabanico sector distal con agua en superficie -**H** Sistema Actual (2)Cauce actual y llanura de inundación **I**
	Río Seco de la Cienaga	Fluvial-aluvial del río Seco de la Cienaga	Planicie Aluvial - **J**

Tabla 1: Jerarquización de las unidades Geomorfológicas en el valle de Zonda.

Provincia Geomorfológica Precordillera Central: Esta unidad morfo-estructural, definida por Baldis y Chebli (1969), se caracteriza por, un estilo estructural de sobrecorrimientos con vergencia al este y por su composición estratigráfica, esencialmente de rocas paleozoicas. En sus extremos norte y sur respectivamente se caracteriza por un fallamiento de tipo inverso de alto ángulo, buzante al oeste y, en forma subordinada, se desarrollan pliegues anticlinales de rumbo norte-sur. En esta área central, los cursos de agua son de carácter temporario y desembocan en cuencas endorreicas y centrípetas. Se forman así, un grupo de "bolsones", alargados en dirección norte-sur (playa de Hualilán y de Matagusanos).

Provincia Geomorfológica Precordillera Oriental: La sierra Chica de Zonda, en conjunto con la sierra de Villicum, son las elevaciones montañosas que conforman la Precordillera oriental, formando una unidad de orientación norte-sur. Esta se caracteriza por poseer un estilo morfoestructural, una litología y un ambiente de depositación, que permite separarlas de las demás provincias geomorfológicas.

Depresión tectónica Valle de Ullum-Zonda: En el territorio sanjuanino, asociado a los bordes de las áreas montañosas pertenecientes a Precordillera, se extienden depresiones longitudinales de origen tectónico. En general estas cuencas son áreas deprimidas, rellenas con materiales sedimentarios cuaternarios, fluviales y coluvio-aluviales de espesores potentes que sobrepasan las centenas de metros.

Estos paisajes son el resultado de la acción combinada de una actividad tectónica en primer lugar, que dieron origen a las depresiones y en segundo lugar a la acción erosiva que destruye las áreas elevadas circundantes y contribuyen al relleno de estas cuencas.

Las unidades geomorfológicas mapeadas en La Figura 2 son: Piedemonte de la Sierra Alta de Zonda (unidad A); Piedemonte de la Sierra de Marquesado (B); Piedemonte de la Sierra Chica de Zonda (C), remantes de antiguos depósitos lacustres (D); abanico aluvial: sector proximal (E.), sector medio (F) y porción distal. Este último sector tiene dos subdivisiones territoriales de acuerdo a la presencia del agua en profundidad. (G) Y en superficie (H), Cauce actual del río San Juan (I) Y Planicie Aluvial del río seco de la Cienaga (J). Hacia el sector occidental se ha determinado la Unidad A, correspondiente el piedemonte de la Sierra Alta de Zonda, son depósitos adosados generalmente al borde montañosos, conformando mas de un nivel de depositación, litológicamente esta constituido por una cubierta de grava, dispuestas sobre sedimentos terciarios que afloran por erosión como roca de base. Esta unidad se extiende hasta el valle propiamente dicho.

En el extremo oriental del área de estudio se ha reconocido las unidades Piedemonte occidental de la sierra de marquesado (B) y la sierra Chica de Zonda (C), el primero se caracteriza por se longitudinalmente estrecho en relación con el segundo, ambos están litológicamente conformados por clastos de caliza y sedimentos carbonáticos, su sector distal se encuentra en contacto neto con los depósitos del abanico y de la planicie aluvial del río Seco de la Ciénaga.

En el sector de la depresión tectónica se han reconocido las restantes unidades: Antiguos sedimentos lacustres (D), estos se encuentran rodeando gran parte del valle de Ullum Zonda, en el sector de estudio se han reconocido en la parte distal de las unidades anteriormente mencionadas, litológicamente están conformados por limos, loess, arena fina a muy fina y arcillas (Roca, 1969). Se estiman que fueron depositados en un antiguo lago formado al indicarse el río San Juan por ascenso de la Sierra chica de Zonda.

Antiguo abanico aluvial, se desarrolla con una pendiente moderada (< 5%), conformando depósitos originados por el río san Juan, presenta su ápice a la altura del Cerro Blanco alcanzando una longitud media de 23Km. De largo y un ancho de aproximadamente 20Km., medido en su parte distal. Esta forma de origen fluvial se corresponde con un ciclo antiguo actualmente abandonado.

Dentro de esta unidad se han podido diferenciar tres sectores claramente distintos: a) un Sector proximal (unidad E), un sector medio (unidad F) y un sector distal en donde, a su ves se han reconocido sitios en donde el agua aflora en superficie (unidad G) y sitios en donde el agua esta en profundidad (unidad H). Sobre este abanico se encuentran los asentamientos humanos y las áreas agronómicas de la región. Cauce actual del río San Juan (unidad I): este sistema actual

constituye una unidad geomorfológica representada por el cauce actual y la llanura de inundación actual, que acompaña al cauce lateralmente a lo largo de su recorrido, y esta ocupada por cauces y barras abandonadas, que desembocan actualmente en el perilago de Ullum.

La planicie aluvial del río Seco de la Ciénaga (Unidad J) constituye una unidad menor pero no menos importante, ya que constituye una importante aporte de sedimentos al valle de Zonda, por esta unidad drenan importantes avenidas torrenciales que depositan sedimentos gruesos y tienen un alto poder erosivo, lo que permite clasificar a esta unidad como hidrológicamente activa.

Procesos Morfodinámicos

El relevamiento geomorfológico contempló además una síntesis de los procesos morfodinámicos que actúan en la región, con el objetivo de establecer parámetros para uso territorial. Se utilizaron las unidades geomorfológicas identificadas y sobre esta base se identificaron los siguientes procesos dinámicos:

- Erosión fluvial lateral y vertical en los arroyos y aluvionamientos por crecientes estivales, que afecta a las unidades A, B y C; y que impactan directamente en las áreas pobladas y cultivadas cercanas al piedemonte.
- Procesos de anegamiento y desecación por fluctuaciones de la capa freática identificados, principalmente, en el sector distal del abanico aluvial del Valle de Zonda (Unidades G y H) que impacta directamente sobre la población ya que restringe el uso del agua en función de las fluctuaciones de la capa freática.
- Desbordes e inundaciones potenciales del cauce actual del río San Juan que afectan básicamente a la Unidad I y en menor medida a las unidades E y F.

En función de esta clasificación de los diferentes procesos morfodinámicos se han propuesto 9 (nueve) sectores con distintas capacidades potenciales de usos de la tierra, coincidentes con las distintas unidades territoriales mapeadas.

Conclusiones

Las unidades geomorfológicas cuaternarias identificadas y mapeadas en el área de estudio, indican la influencia de las variaciones climáticas ocurridas durante el cuaternario, lo que ha generado grandes geoformas fluviales que hoy están abandonadas, dando idea de un sistema fluvial antiguo que coincidió con los eventos de deglaciación en Cordillera.

El relevamiento de los procesos morfodinámicos en cada una de las unidades geomorfológicas, permiten brindar algunos lineamientos sobre las diferentes aptitudes de las mismas para uso territorial.

Las unidades A, B y C poseen limitaciones debido a la erosión fluvial y lateral de los cauces que bajan de los piedemontes, estos a su ves impactan directamente sobre la unidades E y F , que conforman el paleoabanico y en donde se encuentra asentada la población.

Las unidades G y H, que conforman la parte distal del abanico aluvial se encuentran afectadas por las fluctuaciones de la capa freática lo que ocasiona que haya temporadas con un caudal de agua importante que ocasiona inundaciones de sectores agrícolas y otras en la que el registro hídrico es nulo, provocando temporadas de sequía. Esta variación ha sido estudiada con anterioridad y desde la década del 70 se ha instalado, en el la zona, una batería de pozos surgentes que drenan el sector cuando se produce un ascenso de la napa freática.

La unidad I, se encuadra afectada por desbordes del río san Juan por aumento en su caudal, si bien se han identificado la presencia de defensas ratifícales colocadas por el departamento de Hidráulica de la Nación, ante un importante aumento del caudal, las unidades E y F se verían altamente afectadas.

La unidad J es la más afectada por los procesos de aluvionamientos que drenan desde el sur y que provocan una erosión importante y una depositación de sedimentos gruesos sobre las otras unidades adyacentes provocando catástrofes y cuantiosas pérdidas económicas. Un análisis de registros históricos permite establecer zonas más o menos vulnerables a estos peligros naturales.

Bibliografía

- AYALA CARCEDO, F.J. 1988. Introducción a los riesgos geológicos en Riesgos Geológicos, Ayala, F y Durán J. (Eds). IGME, Madrid, 333p.
- BARBEITO, O Y AMBROSINO, S. 2005. Evaluación Geomorfológica de la amenaza por crecientes repentinas. En Peligrosidad Geológica en Argentina. Metodología de análisis y Mapeo. Estudio de casos. Pub. Esp. Nº 4. Edit. Gonzalez M.A. y Bejerman N.J. ASAGAI.
- BALDIS, B., R. MARTINEZ, C. VILLEGAS, M.E. PEREYRA & A. PEREZ, 1990. Estructura provincialismo geológico y unidades tectonoestratigráficas. Relatorio de Geología y de Recursos Naturales de la provincia de San Juan. XI Congreso Geológico Argentino I: 186-208, San Juan. Argentina.
- JAMES, P., 1950. Programa para un relevamiento geográfico de América. Publicación del Instituto de Geografía de la Universidad de Buenos Aires, 98 Pp.
- LE HOUEROU, H.N., 1999. Estudio e Investigaciones

ecológicas de las zonas áridas y semiáridas de Argentina. IADIZA. CRICYT. Mendoza, Informe visita: 1- 228.

- LE HOUEROU, H.N., E. MARTÍNEZ CARRETERO, J.C. GUEVARA, A.B. BERRA, O.R. ESTEVEZ & C.R. STASI, 2006. The true desert of the central-west Argentina. Bioclimatology, geomorphology and vegetation. Multequina 15:1-15.
- MILANA, J.P., 1994. Secuencias aluviales asociadas a variaciones hidrológicas. Consideraciones teóricas y ejemplos. Revista Asociación Argentina de Sedimentología I (2): 103-124.
- PEREYRA, F. 2007. Geomorfología urbana de San Carlos de Bariloche y su influencia en los peligros naturales, Río Negro. Revista de la Asociación Geológica Argentina. V.62 (2) Buenos Aires. pp 309-320
- POBLETE, * & J. MINETTI, 1989. Mesoclimas de San Juan. Ira parte. Inf. Técnico N 11. Centro de Investigaciones de San Juan (CISAJ). San Juan. P: 23-67. SAN JUAN.
- ROCCA, J, 1969. Geología de los valles de Tulum, Ullum y Zonda, Prov. De San Juan. Argentina. Plan Agua Subterránea. PAS: 1-132.
- SAYAGO, J.M., 1982. Las unidades geomorfológicas como base para la evaluación integrada del paisaje natural. Revista Geológica Lilloana XVI (1): 169-180. Tucumán, Argentina.
- SUVIRES, G Y LLORET, G., 2005. Sensibilidad de los ambientes geomorfológicos y edáficos a los cambios ambientales. Un caso de estudio". XVI Congreso Geológico Argentino, La Plata, Buenos Aires, Tomo III, pp: 483-490.
- SUVIRES, G.; ZAMBRANO, J. 2000: Valles en depresiones intermontanas cuaternarias Del centro-oeste argentino. Valles de Matagusano, Ullum, Zonda y Cienaga de Gualilan. Revista cuaternario y Ciencias ambientales. Publicacion especial Nº 4
- TRICART, J. 1965. Principies et méthodes de la geomorphologie.. Ed. Mason.
- VAN ZUIDAM, R., 1977. Terrain analysis and classification using aerial photographs. ITC text book. 65 Pp. Enschede.

GEOMORPHOMETRY AS A VALUE ADDED TO LAND ANALYSIS

Maurizio Poscolieri (1)

(1) CNR–Istituto di Acustica e Sensoristica "O.M. Corbino" (CNR-IDASC), ICES Group – Area della Ricerca "Roma-Tor Vergata" - via del Fosso del Cavaliere, 100, Rome (Italy)

Abstract

Geomorphologically mapped data form a set of observations that can be exploited as complementary data sets in many Earth's Sciences disciplines. Moreover, quantitative data analysis techniques for delimiting landforms from satellite imagery and/or Digital Elevation Models (DEMs) represents a key point fro geomorphologic units mapping.

In this context, the paper presents a relatively new geomorphometric classification method based on statistical multivariate analysis of local topographic gradients, computed around each pixel of the DEM along the eight azimuth directions. Such approach quickly estimates the spatial distributions of different types of homogeneous terrain units, highlighting the impact of erosional and tectonic processes on the whole relief. Some case histories, relative to geological, environmental and archaeological applications, are presented.

Introduction

The terrain topography is numerically represented by the so called Geomorphometry or Quantitative Geomorphology (Pike and Dikau, 1995), where mathematics, engineering and computer science are combined. Earlier trials of providing a definition of geomorphometry were addressed to the landscape geometry; however, new technical advances in computers, analysis algorithms, input/output devices and the availability of large sets of topographic data (Digital Elevation Models, hereafter DEM), such as the SRTM-DEM and ASTER-DEM data, have increased the information amount gathered by geomorphometry (Pike, 1993, 1999, 2002). The computer implementation of morphometry provides geomorphologists with a digital representation of landforms that is now essential to process modelling (Dikau, 1998; Dehn et al., 2001) at all levels of generalization. Computer morphometry contributes to various synoptic attempts at integrating land-surface form with remotely sensed spectral and other environmental data to facilitate a broad-scale explanation of physical processes.

Generally, the DEM is the basis for calculation of terrain attributes (Onorati et al., 1992). For primary attributes that are derived locally, a quadratic trend local surface is usually fitted to the surface.

The standard method involves calculating the parameters of a central cell and its 8 neighbourhood in a moving 3×3 cells window. Typical terrain attributes are slope, aspect and the same elevation that describe the morphological setting of an area providing also a visual portray of the relief. This is also depicted by another interesting by-product of the DEM analysis, i.e. the shade relief, which simulates the illumination condition of a landscape once defined the position over the horizon of a lighting source, such as the Sun (Imhof, 1982). It is particularly useful, besides, to correct unwanted topographic effects in remotely sensed imagery.

Within this framework, this paper presents some results of the application of multivariate data analysis to multilayered topographic data sets obtained by processing a DEM taking into account the elevation value at a given pixel and those at the eight closest neighbours. In practice, eight subtractions are applied according the basic concept shown in figure 1, and the resultant local topographic gradients are set up into an 8-layer data set. Next, a classification procedure, such as those utilized in Remote Sensing to analyze multi-band imagery, is applied to the "geomorphometric" data set in order to obtain uniform terrain units, whose distribution can be displayed as a digital map and further compared with other thematic maps: vegetation, lithological, tectonic, soil and so forth .

	NW	N	NE	
	-1	0	0	
W	0	1	0	E
	0	0	0	
	SW	S	SE	

Figure 1. Sketch of the basic concept for local morphometric analysis. All values of the 3x3 kernel are 0, except for the central one equal to 1 and –1 changing its position according to an azimuthal rotation.

Morphometric classification method

The classification method, applied to the eight resultant layers (henceforth referred to as morpho-bands) after they had been layer-stacked, is an unsupervised cluster analysis technique, i.e. the ISODATA algorithm.

ISODATA represents a flexible iterative partitioning method used extensively in engineering (Hall and Khanna, 1977) and nowadays implemented in many image processing software packages (ERDAS, ENVI, ER-MAPPER). It is based upon estimating some reasonable assignment of the pixel vectors into candidates and then moving them from one cluster to another in such a way that the sum of squared error (SSE) measure of the preceding section is reduced.

ISODATA stands for Iterative Self-Organizing Data Analysis Technique where the "Self-organizing" refers to the way in which it locates the clusters that are inherent in the data. The ISODATA clustering method uses the minimum spectral distance formula to form clusters; it begins with either arbitrary cluster means or means of an existing signature set, and each time the clustering repeats, the means of these clusters are shifted. The new cluster means are used for the next iteration. The ISODATA utility repeats the clustering of the image until either a maximum number of iterations have been performed, or a maximum percentage of unchanged pixels have been reached between two iterations. The ISODATA procedure has also been applied to landform classification from DEMs using as input morpho-attributes elevation, slope, profile and tangent curvature, wetness index and solar incident radiation (Irvin et al., 1997).

The output of the classification is presented as a digital thematic map (see examples in the following sections), showing the spatial distribution of areas with similar characteristics (in our application the geomorphologic setting), and allowing an easier comparison among different geographical sites.

In the next sections different case-histories are illustrated (Parcharidis et al. 2001; Abbate et al. 2006; Parmegiani and Poscolieri, 2003; Adediran et al. 2004).

Mount Soratte case

Geomorphometric and vegetation classes were extracted and analysed by applying two classification methods to the Mount Soratte area, a medium relief structure located 40 km north of Rome (Italy), shown in figure 2.

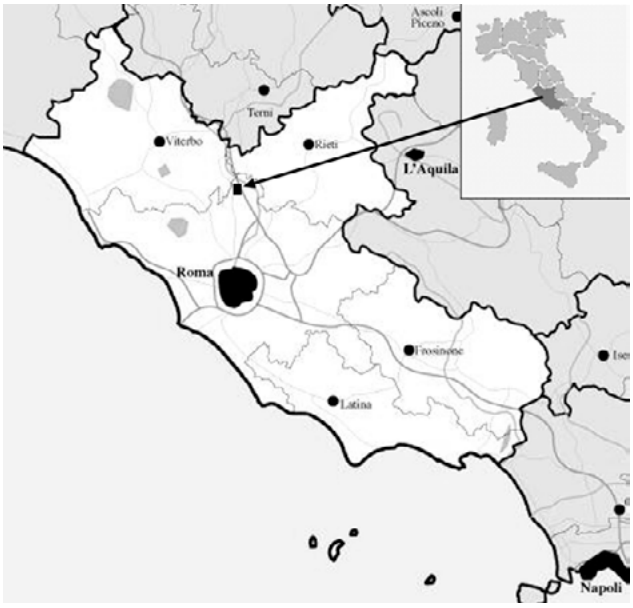


Figure 2. Sketch map of the location of Mount Soratte area.

The study goal was the definition of the relations between prevailing vegetation categories and relief units, highlighting the main morphological features of the land cover classes (Abbate et al., 2006). The vegetation types were obtained by applying a supervised classification method to the first 28 (Visible and Near infrared) bands of the airborne MIVIS hyperspectral data, collected in the framework of a survey campaign over Rome Province. The training sets for the classification procedure were extracted from data collected during field surveys and by photo-interpreting a pre-existing vegetation map and peculiar MIVIS (Multispectral Infrared Visible Imaging System) bands combinations. A DEM (10m/pixel ground resolution), derived from topographic maps, was then processed to set up the 8 morph-bands, which were analysed by means of the ISODATA method. Five geomorphic parameters, such as elevation, aspect, slope angle, vertical curvature, and tangential curvature, were also calculated from the same DEM to describe the geomorphologic class characteristics.

To apply the ISODATA procedure to the Soratte Mt. area, the following input parameters were chosen: a number of 14 classes, a change threshold percent of 1.0 and a maximum iterations number of 25, but the procedure usually converges before 15 iterations. The resultant classification map was presented assigning each class a given colour shade (fig. 3) to facilitate the interpretation and to perform an accurate evaluation of the spatial distribution of different local morphological settings. The classes were then statistically analysed by computing mean and standard deviation of the eight layers, represented by the elevation differences with respect to each reference DEM's pixel. Moreover, to verify the accuracy of the corresponding map, slope and aspect values, relative to the Soratte Mt. area, were calculated from the

same elevation matrix. Then, mean and st. dev. of elevation, slope and aspect, relatively to all 14 ISODATA classes, were computed and compared with the 8-layers statistics of local gradients earlier obtained directly from the classified thematic layers (see table 1). Furthermore, mutual relationships between morphometric units and vegetation types were assessed by performing cross-correlation analysis between the results of the two classifications (Abbate et al., 2006).

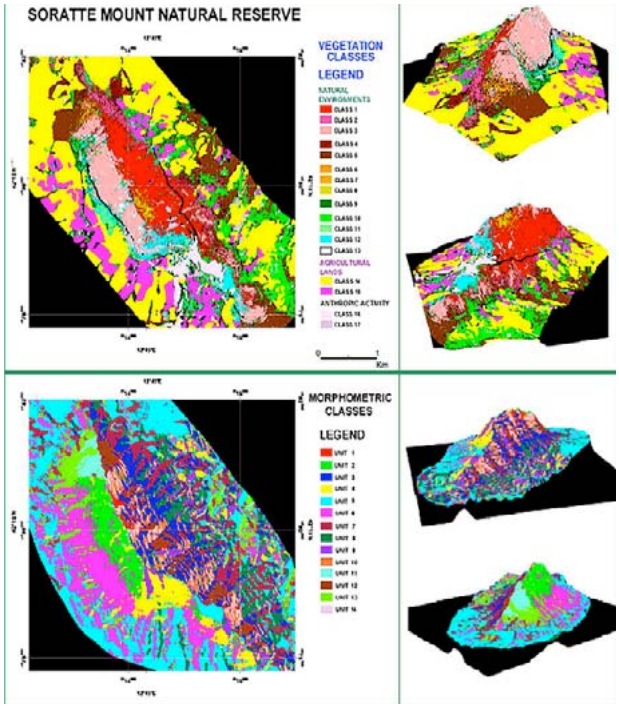


Figure 3, Top left: map showing the predominant vegetation classes on Soratte Mt. as obtained by applying a supervised classification. Top right: two 3D perspectives of the vegetation classes map, draped over the DEM: in the lower one the view is from South to North, in the upper one from North to South. Bottom left: map showing the local gradients ISODATA classification results. Bottom right: two 3D views of the geomorphometric classes map, draped over the DEM: in the lower one the view is southward; in the upper one the view is northward. Vertical exaggeration of the 3D views is 2 to better enhance the overall relief. See table 1 for class characteristics and explanation.

ISODATA UNITS	MORPHOMETRIC UNITS INTERPRETATION	ALTITUDE DIFFERENCES (m)			ALTITUDE	SLOPE	ASPECT
1 (1184 pixel) RED	Very steeply sloping areas facing NE-N	+0.4 -7.6 -14.7	+7.4 x -8.2	+12.8 +5.8 -0.8	429.7 m	44.8°	42.7°
2 (8149 pixel) GREEN	Steeply sloping areas facing SW-W	+2.9 +5.8 +8.5	-2.9 x +2.9	-8.6 -5.8 +2.8	435.1 m	33.2°	243.4°
3 (14458 pixel) BLUE	Averagely sloping areas facing NE-E	+0.1 -2.3 -4.5	+2.2 x -2.1	+4.7 +2.4 +0.2	271.8 m	18.2°	47.0°
4 (11017 pixel) YELLOW	Averagely sloping areas facing S	-3.5 +0.2 +3.9	-3.7 x +3.7	-3.8 -0.2 +3.5	301.1 m	20.7°	180.9°
5 (58894 pixel) CYAN	Almost flat areas facing S-SW	0 +0.1 +0.3	-0.1 x +0.1	-0.3 -0.1 0	195.7 m	3.2°	200.1°
6 (28150 pixel) MAGENTA	Gently sloping areas facing SW-W	+0.6 +1.7 +2.8	-1.1 x +1.1	-2.8 -1.7 -0.6	254.6 m	12.2°	237.6°
7 (21752 pixel) MAROON	Very gently sloping areas facing S	+1.5 0 -1.6	+1.6 x -1.6	+1.6 0 -1.6	184.1 m	9.9°	180.0°
8 (19907 pixel) SEA GREEN	Gently sloping areas facing E	-1.9 -1.8 +1.8	-0.1 x +0.1	+1.7 +1.9 +1.9	198.1 m	11.4°	91.6°
9 (5843 pixel) PURPLE	Averagely-Steeply sloping areas facing SE-E	-6.2 -3.8 -1.1	-2.6 x +2.7	+1.4 +3.9 +6.3	245.1 m	25.1°	123.9°
10 (7054 pixel) CORAL	Averagely-Steeply sloping areas facing E-NE	-3.9 -5.5 -7.4	+1.5 x -1.9	+5.8 +4.4 +2.6	330.4 m	27.9°	71.2°
11 (3042 pixel) AQUA MARINE	Steeply sloping areas facing NW	+8.1 +1.2 0	+4.3 x -4.3	+0.3 +4.0 -8.1	301.6 m	30.6°	316.8°
12 (6762 pixel) SIENNA	Steeply sloping areas facing NE	+2.9 -2.4 -7.6	+5.4 x -5.3	+7.8 +2.4 -2.9	323.1 m	30.7°	43.1°
13 (11936 pixel) CHARTREUSE	Averagely sloping areas facing W-NW	+3.5 +2.6 +1.7	+0.9 x -0.9	-1.7 -2.6 -3.6	218.4 m	16.1°	290.4°
14 (2990 pixel) THISTLE	Very steeply sloping areas facing E-NE	-3.5 -5.8 -7.5	+3.2 x -2.1	+11 +8 +5	371.4 m	36.2°	69.0°

Table 1. Mean values of elevation, slope and aspect and morphostructural interpretation of the elevation differences between each pixel and the eight neighbours, relative to the 14 classes obtained by applying ISODATA clustering method to the Mount Soratte area.

Crete's case

The main objectives of this work were to automatically extract and classify the morpho-units of the north-central part of the island of Crete (fig. 4) by applying advanced statistics and image processing algorithms to local geomorphometric properties of a DEM (20/pixel ground resolution) covering the study area. The emphasis here was on the morphologically homogeneous terrain units, characterized mostly by quite similar sloping settings. To apply the ISODATA method to North-Central Crete differential data sets, the following parameters were chosen: 10 classes, a change threshold percent of 5 and a maximum iteration of 3 (Adediran et al., 2004). The corresponding geomorphometric class map is shown in fig. 5 (left) while the average values and morphostructural interpretation of the elevation differences between each pixel and the 8 neighbours for the 10 classes obtained by applying ISODATA (fig. 5, right) clustering method to Northern-central Crete's DEM. Furhermore, the bottom of table 2 shows the mean values obtained from the DEM derivatives: elevation, aspect and slope.

The investigation was also addressed, as well as in the Mount Soratte case, to the relationships between the geomorphology and the land cover types in the study area.

The spatial distribution of land covers was determined by applying a supervised classification procedure to multispectral SPOT4 Xi imagery covering the study area, after carrying appropriate ground truthing based on field surveys and preliminary unserpervised processing to define the classes. The land cover map is depicted in fig. 5 (right).

The focus was on the inference of the relative occurrence of land cover types within the morpho-units. Further details are reported in Adediran et al.(2004).

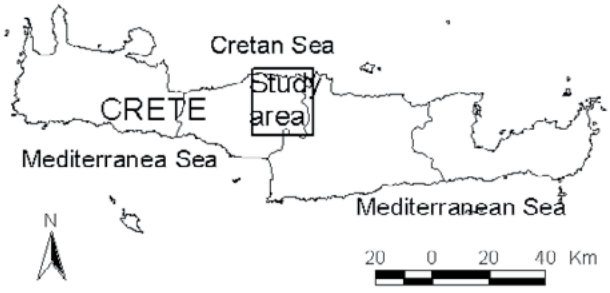
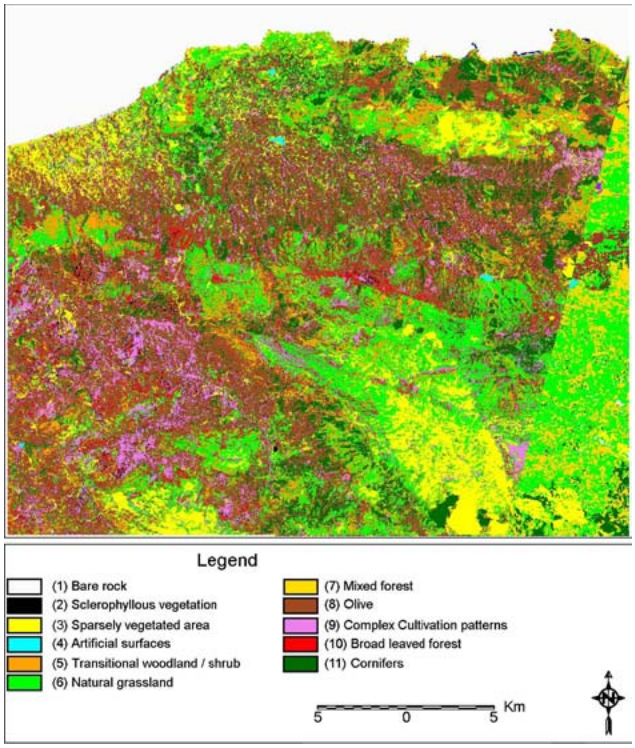


Figure 4. Map of Crete showing the location of the study area (inset).



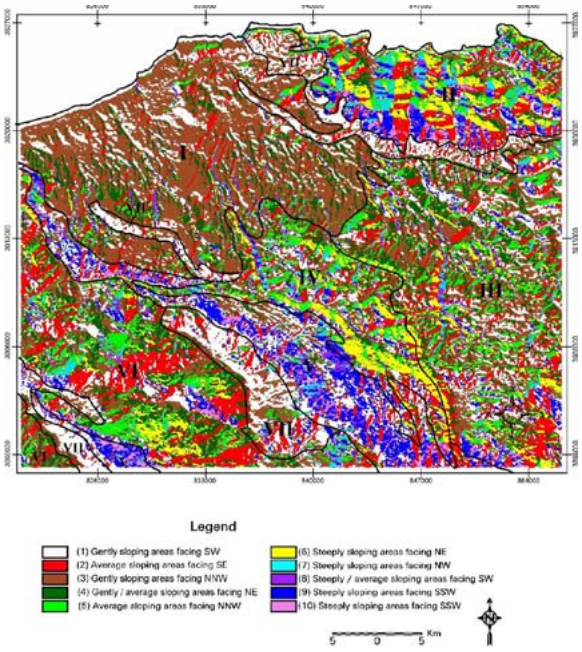


Figure 5. Above. Landcover/landuse category classification map. Below. Morphometric ISODATA classification map. See table 2 for class characteristics and explanation.

	Colour	Elevation Differences			Interpretation
1	White (15.10%)	-0.36 +2.00 +4.00	-2.32 +1.89	-4.56 -2.36 -0.48	Gently sloping areas facing SW
2	Red (11.53%)	-7.94 -4.83 -1.56	-3.44 +3.44	+1.38 +5.00 +8.45	Average sloping areas facing SE
3	Maroon (21.70%)	+2.50 +0.82 -1.25	+1.58 -2.00	+0.32 -1.23 -3.09	Gently sloping areas facing NNW
4	Olive Green (11.28%)	-0.09 -3.37 -6.90	+3.36 -3.69	+6.61 +3.13 -0.67	Gently/average sloping areas facing NE
5	Light Green (6.58%)	+9.37 +2.04 -5.34	+7.30 -7.21	+5.14 -1.98 -8.88	Average sloping areas facing NNW
6	Yellow (5.84%)	+3.30 -6.24 -14.10	+9.98 -8.52	+17.15 +7.47 -1.50	Steeply sloping areas facing NE
7	Cyan (2.41%)	+16.40 +8.69 +1.48	+8.00 -6.78	+0.10 -7.72 -14.04	Steeply sloping areas facing NW
8	Purple (2.47%)	+10.80 +10.52 +10.35	+0.49 +0.04	-9.06 -9.56 -9.41	Steeply/average sloping areas facing W
9	Blue (5.77%)	-0.39 +6.65 +13.57	-6.81 +6.94	-12.76 -6.32 +0.48	Steeply/average sloping areas facing SW
10	Violet (2.00%)	-8.18 +4.15 +20.21	-13.09 +16.75	-15.56 -2.56 +13.36	Steeply sloping areas facing SSW

Geomorphological units (Classes)	Mean aspect values (degrees)	Mean slope values (degrees)	Mean elevation values (meters)
1	220	10	637
2	125	18	736
3	220	8	509
4	50	14	656
5	264	21	750
6	54	31	895
7	309	29	718
8	269	26	793
9	221	27	907
10	191	38	914

Table 2: Top: Mean values and morpho-structural interpretation of local topographic gradients for the 10 classes obtained by applying ISODATA (fig. 5, right) clustering method to Northern-central Crete's DEM. Bottom: Summary of the mean statistical values obtained from the terrain derivatives (elevation, aspect and slope).

Cephalonia island case

The geomorphic characteristics of Cephalonia island were quantitatively delineated by a landform classification procedure, based on the analysis of the local morphological setting (Poscolieri et al. 2006). Geomorphometric data were gathered by processing a DEM (20 m/pixel ground resolution) generated by digitizing contour lines of a 1:50,000 scale map. To apply ISODATA classification technique the following input parameters were chosen for the application of this multivariate procedure: 15 classes, threshold percent change of 1.0%, and 25 maximum iterations. The resulting classification map (fig. 6) assigns every class a given colour shade. Classes were later statistically analysed by computing mean and standard deviation of the eight layers, which represent the elevation differences of every DEM pixel with respect to the neighbourhood. In addition.

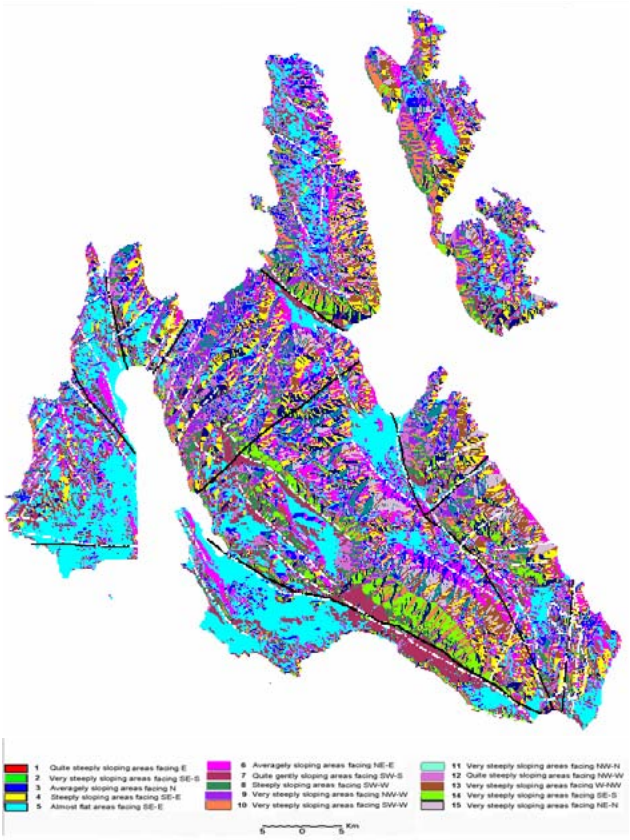


Fig. 6. Geomorphometric map of the Cephalonia island. For explanation see table 3.

The DEM was processed to derive elevation, slope and aspect values; their mean and variance were then computed for all 15 ISODATA classes, and compared with the aforementioned eight stacked layer statistics, to provide a correct geomorphic interpretation of the classification (table 3). The preliminary analysis and interpretation of the geomorphometric image compared with the geological and tectonic block map (see Poscolieri et al., 2006) show a good correspondence with the geo-structural setting of the area.

ISODATA MORPHO-UNITS	GEOMORPHOMETRIC UNITS INTERPRETATION	ELEVATION DIFFERENCES (m)			ELEVATION (mean, std values)	SLOPE (mean, std values)	ASPECT (mean, std values)
1 (760 pixels) 0.04%	Quite steeply sloping areas facing W	+1.89	-1.42	-8.01			
		+3.10		-7.06	297.2 m	14.0°	284.4°
		+0.15	-0.35	-7.40	(291.0 m)	(4.9°)	(14.8°)
2 (93038 pixels) 4.78%	Very steeply sloping areas facing SE S	-11.63	-8.43	-5.01			
		-3.21		+5.32	485.3 m	24.5°	150.0°
		+5.23	+6.49	+11.62	(282.9 m)	(6.3°)	(13.7°)
3 (129102 pixels) 6.63%	Averagely sloping areas facing N	+5.31	+4.67	+4.03			
		+0.72		-0.85	480.3 m	13.9°	227.7°
		-3.32	-4.63	-5.32	(290.0 m)	(9.2°)	(197.4°)
4 (140210 pixels) 7.50%	Steeply sloping areas facing SE-E	-10.47	-3.20	+4.10			
		-7.29		+7.29	424.6 m	21.9°	114.3°
		-3.36	+3.26	+10.42	(200.9 m)	(6.4°)	(10.5)
5 (467171 pixels) 23.98%	Almost flat areas facing SE E	-0.37	-0.12	+0.13			
		-0.25		+0.25	201.0 m	4.3°	104.4°
		-0.14	+0.11	+0.35	(219.5m)	(2.3°)	(99.1°)
6 (238753 pixels) 12.25%	Averagely sloping areas facing NE-E	-1.83	+2.02	+5.88			
		-3.94		+3.92	364.7m	13.7°	60.6
		-5.35	-2.02	+1.31	(279.3 m)	(3.8°)	(21.4°)
7 (223022 pixels) 11.46%	Quite gently sloping areas facing SW-S	-1.85	-8.69	-4.62			
		+1.39		-1.37	285.0 m	11.1°	203.9°
		+4.59	+9.24	+1.88	(231.6 m)	(3.5°)	(27.5°)
8 (97052 pixels) 4.98%	Steeply sloping areas facing SW-W	+2.79	-3.79	-10.35			
		+6.56		-6.56	300.2 m	21.1°	230.8°
		+10.34	+3.86	-2.65	(267.8 m)	(3.9°)	(12.9°)
9 (57691 pixels) 2.97%	Very steeply sloping areas facing NW-W	+13.43	+4.03	-7.47			
		+11.60		-11.54	428.7 m	31.5°	288.8°
		.86	-8.33	-15.41	(264.4 m)	(6.4°)	(11.8°)
10 (40777pixels) 2.09%	Very steeply sloping areas facing SW W	+7.55	-4.28	-16.77			
		+12.37		-12.33	512.6 m	33.5°	250.0°
		+16.85	+4.60	-7.65	(371.7 m)	(4.8°)	(11.7°)
11 (67085 pixels) 3.44%	Very steeply sloping areas facing NW-N	+15.02	+10.2	+5.32			
		+4.98		4.88	507.1 m	29.9°	333.8°
		-5.12	-10.2	-14.98	(327.7 m)	(5.3°)	(13.9°)
12 (120050 pixels) 6.61%	Quite steeply sloping areas facing NW-W	+7.10	+1.76	-3.59			
		+5.42		-5.39	380.5 m	16.3°	286.9°
		+3.75	-1.90	-7.09	(262.8 m)	(4.6°)	(16.4°)
13 (85117 pixels) 4.38%	Very steeply sloping areas facing NE-E	-5.84	+3.74	+13.32			
		-9.69		+9.69	481.2 m	27.7°	60.0°
		-13.31	-3.64	+6.04	(332.5 m)	(5.0°)	(12.9°)
14 (81810 pixels) 4.20%	Very steeply sloping areas facing SW-S	-4.86	-3.81	-14.58			
		+4.88		-4.78	575.7 m	28.9°	208.1°
		+14.58	+3.81	+5.03	(340.3 m)	(5.2°)	(12.0°)
15 (91209 pixels) 4.69%	Very steeply sloping areas facing N-NE	+5.16	+9.37	+13.57			
		-4.19		+4.29	492.9 m	27.5°	33.3°
		-13.55	9.36	-4.97	(394.7 m)	(5.4°)	(52.5°)

Table 3. Mean values of altitude, slope and aspect, as well as elevation differences between every pixel and the eight neighbours, for the 15 classes recognized by processing the Cephalonia local topographic gradients. A morphological interpretation is also reported.

Landform comparison of Vulcano and Nysiros islands

A coarse comparison between the volcanic apparatus' of Vulcano and Nysiros island has shown that only the northern side of volcano, i.e. the Fossa cone area appear quite similar to Nysiros as regard size, eruption style and recent volcanic activity (Parcharids et al, 2001).

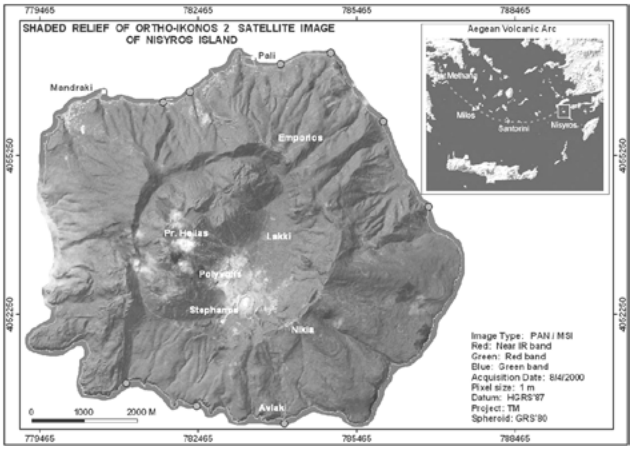


Figure 7. Orthorectified IKONOS-2 image of Nisyros Island (local datum: HGRS'87). The insert shows the position of Nisyros Island at the eastern end of the Aegean Volcanic Arc (after Lagios et al., 2007).

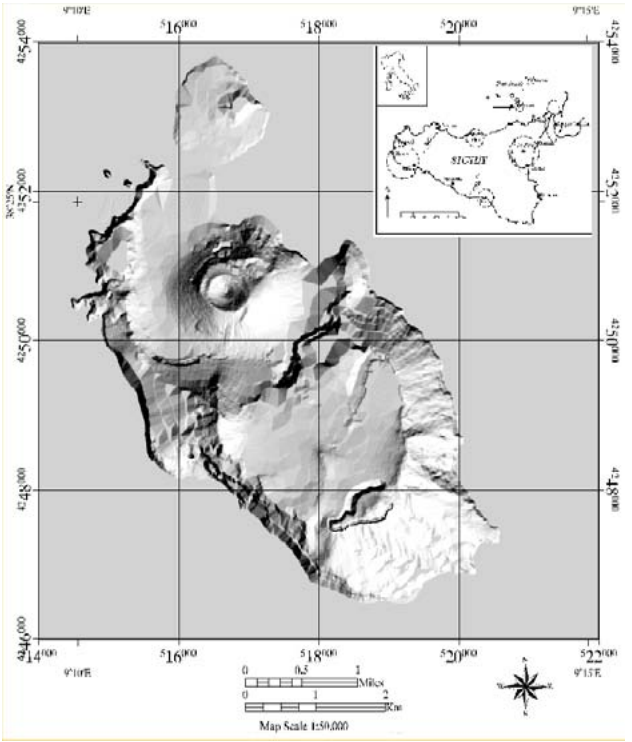


Figure 8. Orthorectified IKONOS-2 image of Nisyros Island (local datum: HGRS'87). The insert shows the position of Nisyros Island at the eastern end of the Aegean Volcanic Arc (after Lagios et al., 2007).

COLOUR	NISYROS			VULCANO		
YELLOW	-0.6	-4.7	-13	-2.3	-13.7	-27.3
	+0.5		-12	+9.3		-15
	-2.9	-6.4	-14.8	+15	+7	-6
RED	-8.9	-9.4	-10.6	-2.4	-7.8	-13
	-0.36		-1.8	+5.6		-5.3
	+7.7	+7.7	+6.4	+13.7	+8.3	+2.8
DARK GREEN	+13	+7.6	+1.9	+5.8	+1.5	-2.8
	+5.5		-5.8	+4.5		-4.4
	-2.5	-8.2	-13.7	+3	-1.4	-5.8
LIGHT GREEN	-12.1	-4.4	+2.9	+0.4	-2.1	-4.8
	-7.8		+7.1	+2.4		-2.6
	-3.7	+3.7	+10.8	+4.3	+1.9	-0.5
MAGENTA	-2.8	-0.1	+2.2	-5.5	-0.7	+4.1
	-2.5		+2.2	-4.8		+4.9
	-2.6	-0.1	+2.2	-3.9	+0.8	+5.5
WHITE	+0.02	-0.03	-0.07	0	0	0
	+0.04		-0.04	0		0
	+0.07	+0.02	-0.02	0	0	0
CYAN	+5.3	+4.6	+4.2	+6.3	+5.6	+4.8
	+0.86		-0.3	+0.8		-0.8
	-3.2	-4.0	-4.4	-4.6	-5.5	-6.2
BLUE	-1.1	+5.8	+13	-1.2	+4.0	+9.2
	-6.8		+7.8	-5.4		+5.3
	-11.9	-5.1	+2.5	-9.5	-4.2	+1.2
VIOLET	+6.5	-1.9	-9.6	+13.2	-2.1	-15.6
	+9.1		-7.5	+16.3		-13.6
	+12	+3.5	-4.4	+19.3	+3.8	-10
BROWN RED	-6.0	-3.1	+5.2	-5.7	-4.6	-3.4
	-3.8		+11.8	-1.1		+1.2
	+9.6	+14.4	+21.9	+3.6	+4.8	+5.9

Table 4. Average elevation differences between each pixel and the 8 neighbours for the 10 classes obtained by applying ISODATA clustering method to Nisyros and Vulcano DEMs.

Thus, a quantitative study of the geomorphologic setting of Fossa cone complex and of the entire Nisyros island has been carried out. To this purpose, two DEMs have been analyzed focusing on the detection of physiographic units significant from volcanic and tectonic viewpoints. The DEMs of Nisyros and Vulcano were acquired by digitizing the contour lines of available topographic maps, achieving pixel resolutions of respectively 20 and 10m. The same concept as that aforementioned for the other case histories was applied to derive the eight local gradients layers for the two volcanic islands.

To apply the ISODATA method to Vulcano and Nisyros differential data sets, the following parameters have been adopted: a number of 10 classes, a change threshold percent of 5 and a maximum iterations number of 3. The resulting classification maps were displayed, as usual, attributing a given colour to each class (fig. 9). In table 4 for every one of the ten classes mean elevation differences between each pixel and the eight surrounding ones are shown. The colour attributed to every class points out similar landscape types for both islands. See Parchariuds et al. for more detail.

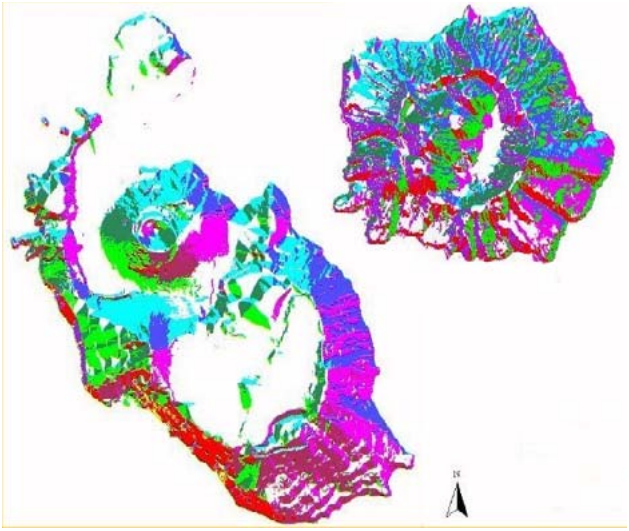


Figure 9. Geomorphometric ISODATA classification maps of Vulcano (bottom right) and Nisyros (top left). See table 4 for class characteristics.

The results of the application of the ISODATA classification method to the two islands showed that a difference in the changing rate and distribution of classes could be observed. Vulcano (Fossa Cone area) did not exhibit a very frequent change of the slope values expressed by a large cover of every class. Nisyros, instead, was characterized by a very frequent interchange of the classes: this could be due to the quite arid climate of Nisyros that does not favour vegetation growth, obtaining as result a denuded landscape, exposed to strong erosion processes. Classes, associated to steep slopes and loose formations, presented a high grade of gravity movements. Conversely, Vulcano island is a relatively recent volcanic apparatus, not yet affected by strong weathering and erosive agents which have sculptured Nisyros landscape. Classes, related to faulted and steep zones, had a particular interest in terms of slope stability.

Study of the morphological upset of Sovana archaeological site

The settlement of “Sorgenti della Nova” was standing, during the first half of the 1th century B.C, above a tuff hill, at the boundary between Latium and Tuscany regions (figure 10).

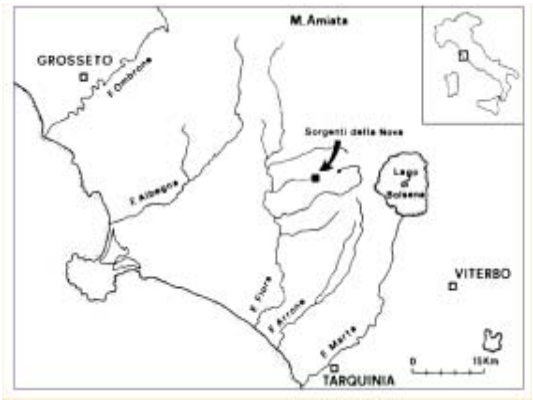


Figure 10. Location map of "Sorgenti della Nova" settlement. The insert shows the position of the study area in the Italian peninsula.

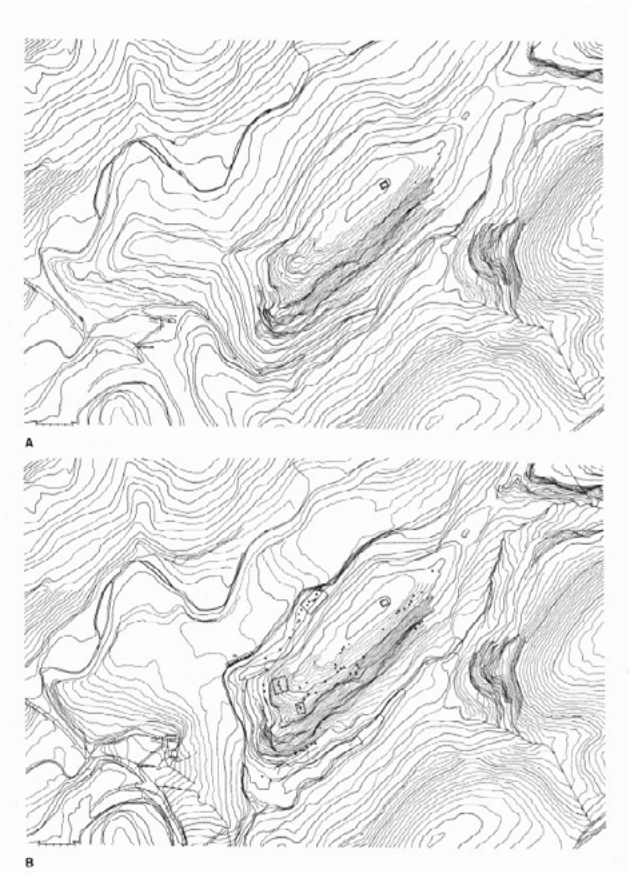


Figure 11. Topographic maps on 1:1,000 scale that describe the elevation settings before (A) and after (B) the quarry opening.

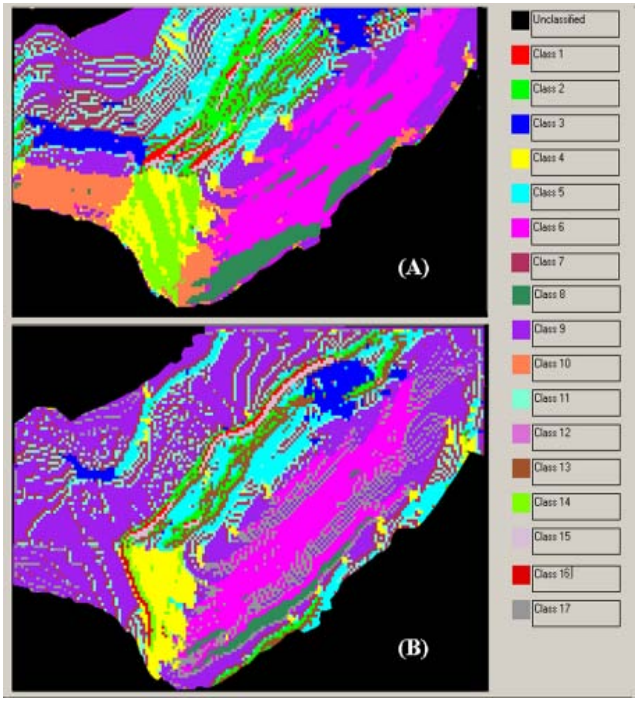


Figure 12. ISODATA classification maps relative to "Sorgenti della Nova" archaeological site obtained by processing respectively the Pre-quarry (A) and Post-quarry "(B) DEMs. See table 5 for class characteristics and explanation.

During the first '70s the hill underwent a remarkable morphological upsetting due to the opening of a pumice quarry and to subsequent agricultural works.

This caused the obliteration of the archaeological witnesses and substantial changes of the morphological scenario A comparative analysis of the two elevation settings before and after the quarry opening and human works, was carried out by digitizing the contour lines of two 1,000 scale maps (fig. 11). This allowed for a reconstruction of the primary landforms before the quarry emplacement (hereafter indicated as Pre-quarry) with respect to those depicted after (hereafter pointed out as Post-quarry).

By processing these data sets, two raster DEMs (3 m/pixel ground resolution) and relative by-products such as slope, aspect and shaded relief maps were created. On these maps outlines of geological formations and of archaeological excavation sites were overlapped.

Next, the application of different analysis techniques, such as comparative statistics of slope values frequencies, plots of elevations traces along peculiar directions, calculation of the volume of material removed during the quarry works, visualisation of the excavation areas on the thematic maps, allowed acquiring remarkable information that was then interpreted in terms of archaeological perspective. In particular, the settlement location choices and the differences on human occupation of the hill (Northern or Southern) sides were better understood.

Peculiar information was gathered by analyzing the results of the application of the ISODATA clustering method to the elevation gradients of the two DEMs (Parmegiani and Poscolieri, 2003). Hence, a mutual comparison of the resulting geomorphometric classes was accomplished permitting to apply morphological changes detection. The archaeological interpretation allowed, then, to give insight into settlement location choices.

To apply the ISODATA method to Pre-quarry and Post-quarry "Sorgenti della Nova" differential data sets, the following parameters were adopted: a number of 15 classes, a change threshold percent of 1 and a maximum iterations number of 25.

The resulting class map was masked for the portion of landscape outside the study area and was visualized assigning a colour to each obtained class that describe a given morphological setting. The cross-comparison of the mean eight topographic gradients, pertinent to the two maps, as shown in table 5, allowed determining those with similar morphological characteristics and assessing their areal extent. The analysis of table 5 highlights the morphological changes occurred after the quarry opening. Two morpho-units disappeared, the # 10 and 12. Conversely, class 17, occurring as local scattered spots along the southern side of the hill and class 16, scarcely represented along its south-western side, appeared.

Finally, the cross-check between class 1 and 15 depicts a quite interesting scenario: the two classes exhibit similar mean values of elevation, slope and aspect, but looking at their local morphological settings (see table 5) appear different: in fact, class 1 is much steeper uphill than downhill, while class 15 is steeper downhill than uphill, determining respectively morphological concave and convex forms.

Concluding remarks

By mean of a detailed analysis of the local geomorphologic setting the noteworthy effectiveness of the described geomorphometric classification has been highlighted to define relief characteristics in different landscape contexts.
This methodological approach allows performing a quick estimate of the spatial distribution of different slope and aspect classes, as well as to discriminate areas exhibiting similar morphological setting. It is so possible to formulate an evaluation of the impact of the tectonic and erosional processes onto the whole analyzed relief.

Moreover, it is possible to assess the impact, and then the relationships, of the identified morpho-units within a given area on the spatial distribution of vegetation and land cover/ use categories, defined on the basis of an integrated analysis of remotely sensed data and ground truthing collected during survey campaigns.

A last statement concerns the possibility of exploiting this method for evaluating morphological modifications due to either catastrophic natural phenomena or human interventions.

ISODATA morpho-units	Geomorphometric units interpretation	Pre-quarry Elev. Slope Aspect	Post -quarry Elev. Slope Aspec	Pre-quarry elevatio differences (m)			Post-quarry elevation differences (m)		
1 (1565-> 927 sq.m)	Very steeply sloping areas facing NW	262.7 m	243.9	+3.68	+2.35	+0.62	+4.67	+3.59	+0.45
		51.0°	66.1°	+1.76		-2.94	+2.94		-6.25
		325.4°	323.5°	-1.29	-4.06	-6.32	-2.33	-8.17	-13.68
2 (6414-> 3779 sq.m)	Steeply sloping areas facing NW	265.6 m	259.3 m	+2.78	+1.29	-0.39	+3.20	+1.82	-0.17
		38.4°	49.2°	+1.47		-2.10	+1.73		-3.02
		311.9°	316.7°	+0.03	-1.88	-3.85	-0.49	-3.30	-6.68
3 (9067-> 3843 sq.m)	Averagely sloping areas facing N	257.3 m	268.9 m	+1.99	+1.94	+1.87	+1.91	+1.85	+1.78
		33.2°	31.7°	+0.04		-0.06	-0.01		-0.01
		233.1°	263.8°	-1.90	-1.99	-2.03	-1.83	-1.88	-1.89
4 (5514 ->6992 sq.m)	Quite gently sloping areas facing SE	255.9 m	264.2 m	+0.62	-0.54	-1.81	+1.02	-0.60	-2.30
		23.1°	31.1°	+1.05		-1.28	+1.63		-1.66
		248.4°	249.2°	+1.44	+0.37	-0.77	+2.17	+0.57	-1.02
5 (13371>10917 sq.m)	Averagely sloping areas facing NW	252.6 m	268.6 m	+1.68	+0.81	-0.15	+2.36	+1.11	-0.16
		24.6°	30.4°	+0.86		-1.10	+1.24		-1.32
		313.4°	312.1°	-0.06	-1.09	-2.16	+0.13	-1.20	-2.52
6 (21545->16950 sq.m)	Averagely sloping areas facing SW	279.2 m	280.2 m	-2.03	-1.06	-0.10	-2.03	-1.10	-0.09
		25.7°	28.3°	-0.95		+0.93	-0.92		+1.13
		138.3°	139.9°	+0.11	+1.05	+2.00	+0.27	+1.31	+2.40
7 (12497>15299 sq.m)	Averagely-gently sloping areas facing NW	239.4 m	247.9 m	+0.47	+0.22	+0.09	+0.14	-0.12	-0.46
		13.6°	10.3°	-0.14		-0.51	-0.02		-0.70
		264.7°	281.6°	-0.69	-0.95	-1.18	-0.22	-0.51	-1.18
8 (5553->2163 sq.m)	Averagely-steeply sloping areas facing SE-S	257.9 m	257.0	-4.23	-2.82	-1.21	-4.42	-3.10	-1.18
		46.5°	49.6°	-1.65		+1.69	-2.00		+2.19
		150.0°	148.9°	+1.24	+2.87	+4.29	+1.26	+3.32	+4.84
9 (24710>43558 sq.m)	Amost flar areas facing SE	255.9 m	248.9 m	-0.33	-0.17	-0.02	-0.10	-0.03	-0.01
		6.6°	4.2°	-0.12		+0.16	-0.01		+0.09
		160.9°	173.6°	+0.06	+0.21	+0.34	+0.08	+0.13	+0.19
10 (8249 sq.m)	Quite gently sloping areas facing SW-S	247.9 m	-	-1.27	-1.57	-1.82	-	-	-
		27.8°	-	+0.31		-0.27	-		-
		190.2°	-	+1.85	+1.56	+1.26	-	-	-
11(12400>11308 sq.m)	Averagely-gently sloping areas facing NW	245.2 m	253.9 m	+1.42	+0.96	+0.53	+1.28	+0.71	+0.36
		14.6°	11.0°	+0.71		-0.01	+0.86		+0.14
		283.7°	270.3°	+0.12	-0.17	-0.54	+0.56	+0.20	-0.05
12 (381 sq.m)	Averagely sloping areas facing NE	278.8 m	-	+0.47	+1.46	+2.46	-	-	-
		28.5°	-	-1.04		+1.39	-		-
		49.8°	-	-1.76	-0.79	+0.68	-	-	-
13 (6968 ->4937mq)	Steeply sloping areas facing NW	266.7 m	271.1 m	+3.36	+1.76	+0.43	+5.80	+2.86	+0.38
		32.2°	47.3°	+1.59		-0.85	+2.66		-1.77
		317.9°	316.3°	+0.15	-0.96	-1.95	+0.15	-1.81	-3.43
14 (5121->1008 mq)	Averagely-steeply sloping areas facing SW-W	256.0 m	258.3 m	+1.46	-0.77	-2.89	+4.29	-0.29	-2.99
		38.1°	52.3°	+2.27		-2.14	+5.45		-2.63
		249.8°	260.1°	+3.06	+0.91	-1.28	+6.53	+1.29	-2.13
15 (1827->1354 mq)	Very steeply sloping areas facing NW-N	269.1 m	257.3 m	+6.21	+3.72	+0.88	+12.7	+7.59	+2.17
		47.8°	67.1°	+3.15		-1.43	+5.85		-3.44
		318.6°	321.1°	-0.03	-1.69	-2.76	-0.61	-4.51	-6.67
16 (477 mq)	Very steeply sloping areas facing SE-E	-	240.3 m	-	-	-	+2.25	-2.02	-9.00
		-	58.1°	-		-	+2.64		-7.15
		-	254.9°	-	-	-	+2.79	+0.91	-4.87
17 (11470 mq)	Quite steeply sloping areas facing SE	-	267.5 m	-	-	-	-1.68	-1.15	-0.63
		-	16.5°	-		-	-0.72		-0.05
		-	152.6°	-	-	-	+0.01	+0.28	+0.58

Table 5. ISODATA classes obtained by processing Pre-quarry and Post-quarry "Sorgenti della Nova" DEMs. Each class is provided with a morphological interpretation, the area extent, elevation-slope-aspect and local gradients mean values (shown in red the positive ones, in blue the negative ones).

References

- Abbate, G., Cavalli, R. M., Pascucci, S., Pignatti, S., and Poscolieri, M., 2006. Relations between morphological settings and vegetation covers in a medium relief landscape of Central Italy. Annals of Geophysics, 49, 1, 1-13.
- Adediran, O. A., Parcharidis, I., Poscolieri, M.& Pavlopoulos, K., 2004. Computer-assisted discrimination of morphological units on northcentral Crete (Greece), by applying multivariate statistics to local relief gradients. Geomorphology, 58, 357–370.
- Dehn, M., Ga¨rtner, H., Dikau, R., 2001. Principles of semantic modeling of landform structures. Comput. Geosci. 27 (8), 1005– 1010.
- Dikau, R., 1998. The need for field evidence in modelling landform evolution. In: Hergarten, S., Neugebauer, H. (Eds.), Process Modelling and Landform Evolution, Lecture Notes in Earth Sciences, vol. 78. Springer, Heidelberg, pp. 3 –12.
- Imhof, E., 1982. Cartographic Relief Presentation, vol. XVIII. Gruyter, Berlin, pp. 1 –389.
- Hall, D.J., Khanna, D., 1977. Statistical Methods for

Digital Computers. Wiley, New York.
- Onorati, G., Poscolieri, M., Ventura, R., Chiarini, V. and Crucilla, U., 1992. Analysis of the Digital Elevation Model of Italy for quantitative geomorphology and structural geology, Catena, 19, 147-178.
- Lagios, E., Vassilopoulou, S., Sakkas, V., Dietrich, V., Damiata, B.N., Ganas, A. 2007. Testing satellite and ground thermal imaging of low-temperature fumarolic fields: The dormant Nisyros Volcano (Greece). ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing, 62/2, 447-460.
- Parmegiani, N., Poscolieri, M., 2003. Studio dell'impatto antropico sull'assetto morfologico di un'area archeologica", Proceed. of the 7th ASITA National Conference. "L'informazione territoriale e la dimensione tempo", Verona (Italy), 28-31 October 2003, Vol. 2, pp. 1569-1574.
- Parcharidis, I., Pavlopoulos, A., Poscolieri M., 2001. Geomorphometric analysis of the Vulcano and Nysiros island: clues of the definitions of their volcanic landforms", Proceed. of the Intern. Conference "The Bridge between Big Bang and Biology", Stromboli (Messina, Italy), 13-17 September 1999, F. Giovannelli (ed.), CNR President Bureau, Special Volume, pp. 310-320.
- Pike, R.J., 1993. A bibliography of geomorphometry with a topical key to the literature and an introduction to the numerical characterization of topographic form. U.S. Geological Survey, Open-File Report 93-262A.
- Pike, R.J., 1999. A Bibliography of Geomorphometry, the Quantitative Representation of Topography-Supplement 3. U.S. Geological Survey, Open-File Report 99-140
- Pike, R.J., 2002. A bibliography of terrain modelling (geomorphometry), the quantitative representation of topography, U.S. Geological Survey, Open-File Report 02-465
- Poscolieri M., Lagios E., Gregori G. P., Paparo G., Sakkas V. A., Parcharidis I., Marson I., Soukis K., Vassilakis E., Angelucci F. E Vassilopoulou S., 2006. Crustal stress and seismic activity in the Ionian archipelago as inferred by combined satellite and ground-based observations, Kefallinìa, Greece. In: Fractal Analysis for Natural Hazards, Cello, G. and Malamud, B. D. (eds.), Geological Society, London, Special Publications, 261, pp. 63–78.

PERCEPCION Y RIESGOS DE LAS COMUNIDADES DE CHENQUE-CO Y ALREDEDORES

Espec. Amalia Ramires (1)
Guardaparque Eduardo Chamorro (2)
Prof. Ernesto Ovando (3)
Est. Rolando Poblete (4)
(1) Departamento de Riesgo Ambiental y Territorial- ICES-Regional Malargüe-Argentina.
(2) Áreas Protegidas – Dirección de Recursos Naturales Renovables-Delegación Malargüe- Mendoza.
(3) IES Instituto Educación Superior 9- 018- Malargüe.
(4) IEF- 9-016-Tecnicatura Superior en Conservación de la Naturaleza.

Con el fin de facilitar la comprensión del documento se ha diseñado un glosario con los términos y expresiones más comunes utilizadas por los entrevistados.

Glosario

- Acequiecita: se refiere a una acequia, un pequeño canal por donde circula el agua.
- Aficean: asfixia.
- Andalear: objeto que se mueve y se puede caer.
- Aguacero: lluvia intensa que puede durar entre 2 y 5 cinco días.
- Avenía: aumento súbito o paulatino del caudal de un río o arroyo hacia el puesto y sus instalaciones.
- Brava: intensa, violenta, fuerte.
- Cantarilla: alcantarilla, canal.
- Carona: cinto ancho de cuero que se coloca en la parte superior de la montura del caballo que se aprieta para sostenerla.
- Claro: expresión utilizada para afirmar algo.
- Creciente: aluvión.
- Crezca: aumento súbito o paulatino del caudal de un río o arroyo
- Críos: niños
- Dentre: entre
- Escarcha: congelamiento del agua.
- Golpe del arroyo: aluvión violento que provoca cuantiosos daños.
- Hizo tira: que se destruyó.
- Onda la nieve: acumulación importante de nieve mayor a 50cm.
- Pa llá: para allá
- Paraje: espacio físico y social definido por un acuerdo consuetudinario de los pobladores del lugar, cuyos límites están determinados por una característica del paisaje natural, una loma, un cerro, un montal, (jarillal, pichanal, etc.) o por un puesto. Los parajes involucran cierta cantidad de puestos, que muchas veces tiene en común ser parte de una misma familia y representan para el puestero un rasgo de identidad que los distingue del resto (Ovando E., 2008, Inédito).
- Pedazo de falda de cerro: parte de la ladera de una montaña .
- Puesto: residencia del puestero y su familia, compuesto por la vivienda e instalaciones conexas, los corrales, el potrero y el campo para pastaje del ganado. (Ramires A.; 2004, inédito).
- Siestiar: descanso que se realiza después del mediodía para dormir la siesta.
- Socavón: cárcava

Introducción

El presente proyecto surge a partir de la inquietud del Cuerpo de Guardaparques Zona Sur de la Dirección de Recursos Naturales Renovables de la Provincia de Mendoza, en el marco del "Plan Operativo Anual- POA- Reserva Caverna de Las Brujas, Subprograma: Control, fiscalización y emergencias, Proyecto: elaboración de un Plan de Contingencias, en la zona para eventos adversos: vulcanismo y otros riesgos" quienes expresan la necesidad de realizar acciones tendientes a la Prevención de Riesgos en el área de influencia (Arroyos Chenque- ko y Chacai- ko) de la mencionada Reserva, distante a unos 65 km al suroeste de la Ciudad de Malargüe.

A partir de reuniones mantenidas y teniendo en cuenta las características socioculturales de la población, la escasez de estudios de este tipo y la naturaleza de los riesgos se adopta la aplicación de una metodología cualitativa utilizando como herramienta de investigación la entrevista mediante visitas a los puestos del sector. Parte de estos testimonios y su análisis vinculados a las principales amenazas tales como crecientes (aluviones), nevadas y vientos, se exponen en este trabajo.

Los datos sobre erupciones volcánicas que se recabaron no

se presentan en esta publicación por encontrarse proceso de estudio.

Localización del área en estudio

El sector a trabajar se ubica a unos 65 km. Al sudoeste de la ciudad de Malargüe, en el Distrito Río Grande. (Fig. 1)
Desde la Reserva caverna de Las Brujas, los asentamientos humanos distan entre los 5 y 10 km. En línea recta.

La población desarrolla sus actividades ganaderas- pastoreo de ganado caprino- en un ambiente cordillerano (Cordillera Principal) y de valles de origen fluvial, siendo el clima frío y árido, con precipitaciones nivales y pluviales, éstas últimas se producen especialmente en verano siendo concentradas en tiempo y espacio.

Los puestos se localizan (entre los 1400 y 1900 ms.n.m.) de manera dispersa cerca de fuentes de aprovisionamiento de agua y pasturas, a la vera de los arroyos Chenque Co y Chacai-Co. En el primero de estos cursos de agua se localizan nueve puestos de invernada y veranada, con una antigüedad aproximada de cien años, mientras que en el segundo se encuentran cuatro puestos de veranada, es decir, que sólo es ocupado en el verano para el engorde del ganado.

El acceso a los mismos, se realiza por la Ruta nacional 40 en mal estado de conservación y desde este eje vial por huellas de tierra deterioradas, realizadas en muchos casos por los habitantes del lugar.

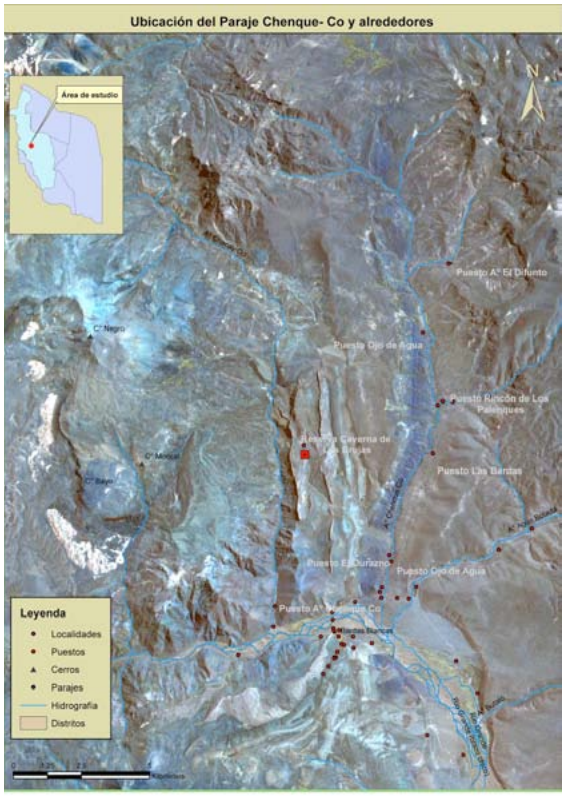


Fig. 1

Fundamentos

El principal avance en relación a la investigación sobre la problemática de los desastres, ha sido la desmistificación de la idea de que dichos fenómenos son producto de factores impredecibles e incontrolables, y el reconocimiento de que cualquier estudio objetivo sobre el tema debe necesariamente tomar como punto de partida el postulado de que los desastres considerados como procesos sociales alterados por la presencia o manifestación de amenazas, sean éstas de origen natural, socio-natural, antrópico o tecnológico- son el efecto de una relación contradictoria entre factores económicos, políticos y sociales, etc., la forma en que la sociedad se relaciona con su medio y los mecanismos de apropiación del espacio en un contexto determinado. (Mansilla E., Riesgo y Ciudad).

El concepto que se toma de riesgo, comprende esta nueva visión del tema. Lo primero que se debe tener presente es que el riesgo es parte de un proceso dinámico y que se construye paulatinamente a través de nuestras acciones en el territorio, por lo tanto, cuando se produce un evento que excede nuestra capacidad de respuesta y que se convierte en desastre éste no es un producto aislado sino que sus causalidades están en la gestación de escenarios de riesgo. No obstante los avances desde el punto de vista científico en el tema, en muchas comunidades continúa persistiendo la visión fatalista de los riesgos y/o catástrofes.

El concepto de riesgo se vincula con el concepto y estilos de desarrollo, es producto del mismo y empieza a manifestarse cuando las sociedades entran en conflicto con la Naturaleza, debido a la transformación que la misma comienza a sufrir para la satisfacción de diversas necesidades. Históricamente el riesgo ha evolucionado paralelamente a la capacidad del hombre de transformar y fundamentalmente de depredar a la Naturaleza; es decir, a mayor capacidad transformadora-depredadora, mayor riesgo. Por tanto, no se trata de una relación directa, sino determinada por las formas que dicha transformación ha adquirido y el contexto social en el que tiene lugar. En otras palabras, se debe, en particular, a la forma conflictiva en que la naturaleza ha sido socializada. En este caso, se tratará de comprender cómo se ha construido esta relación entre los pobladores de la Zona de Chenque-Co y la Naturaleza, cuáles son los conflictos que surgen de la misma, qué los ha motivado y cómo tratan de resolverlo, en el marco de qué estilo/s de desarrollo.

Esta nueva concepción del riesgo, dejó atrás la idea de que sus dos componentes esenciales: amenaza y vulnerabilidad son partes aisladas y estáticas. Por el contrario son parte de un mismo proceso dinámico y continuo e interdependiente ya que su relación es dialéctica.

(Cerdán et al.2007) define las amenazas o peligros como la probabilidad de ocurrencia de uno o más fenómenos potencialmente dañinos, de diverso origen que pueden ser peligrosos para la población y las actividades instaladas en una región expuesta expuesta a las mismas, en un contexto social, temporal y espacial definido. Las amenazas se clasifican de acuerdo a su origen en naturales, socio-naturales y antrópicas.

La misma autora sostiene que la vulnerabilidad es la condición a través de la cual una unidad social (familia, comunidad, sociedad), estructura física, ambiental, o actividad económica que la sustentan, es susceptible de sufrir daños por acción de un peligro o amenaza. Comprende un concepto prospectivo, potencial que se expresa en términos de debilidad o fragilidad relativa, que debe ser estudiada con una visión multidisciplinar y dentro de la sinergia en la que se produce.

El Riesgo se entiende como la posibilidad de que existan daños y pérdidas si ocurre una amenaza o peligro en un contexto social vulnerable, temporal y espacial determinado. Es la cuantificación del daño.

A través de este trabajo se trata de conocer qué concepción de riesgo tienen los puesteros del lugar, es decir, cómo los consideran si son parte de sus interacciones con el ambiente o como agentes "externos" y cuáles son los modos de respuesta frente a los mismos. Esto indudablemente llevará a comprender determinadas vulnerabilidades.

Objetivos

- Obtener indicadores sobre la percepción de los riesgos de origen natural (aluviones- vientos- nevadas y erupciones volcánicas) de la población residente en los Arroyos Chenque- Ko , Chacai- Ko y alrededores.
- Conocer mediante la metodología cualitativa (entrevistas) los tipos de riesgos de estos parajes, su recurrencia e intensidad.
- Aproximarse al conocimiento de los tipos de vulnerabilidad de las comunidades frente a los riesgos.
- Comprender los modos de respuesta por parte de la población local en el corto- mediano y largo plazo frente a la ocurrencia de las amenazas.
- Generar información que permita realizar acciones de prevención del riesgo, a partir de saberes regionales, más efectivas y pertinentes en el mediano y largo plazo.

Metodología

Metodológicamente se parte teniendo en cuenta el paradigma interpretativo cuyo principio se basa en que "el individuo es un sujeto que interactúa y que comparte significados. La explicación de la conducta social se debe basar en la interpretación". Por ello se abordará el problema desde una metodología cualitativa e inductiva ya que a través del estudio de casos únicos y singulares que aportan un grado de profundidad al conocimiento, en el que el otro tiene el conocimiento no el investigador. Centrada tal como lo sostienen (Marshall y Rosman) en la experiencia de las personas, en la práctica real insitu (Silverman), observando cómo las interrelaciones son realizadas rutinariamente. "El cómo ven las cosas y el cómo hacen las cosas se conjugan", interesa el sujeto en si, el mismo integrado al contexto, la investigación es empática ya que implica ponerse en el lugar del otro, es interpretativa ya que interesan las expresiones textuales de los actores, cómo cuentan una determinada situación.

Dentro de los componentes de la investigación cualitativa se utilizan Los Datos que constituyen todo aquello que tiene que ver con los significados del sujeto, de expresiones verbales y no verbales, las narrativas personales, las historias de vida y otros documentos de vida, las fotografías, etc.

La técnica de recolección de datos que se usará es la entrevista en profundidad que consiste en la interacción verbal "cara a cara" entre el investigador y el informante constituida por preguntas y respuestas orientadas a una determinada temática, dirigidas hacia la comprensión y las perspectivas que tienen los informantes en este caso en particular, respecto de los riesgos, tal y como lo expresan con sus propias palabras. (Taylor y Bogdan).

Para el diseño y abordaje de la entrevista se parte de herramientas de la Historia Oral[1] .

Otra técnica que se utiliza es la observación participante ya que los responsables del proyecto están integrados en cierta medida al área por razones laborales, por haber sido miembro en el pasado de comunidades cercanas a la zona y porque existe escasa información del tema a investigar.

Los recursos para llevar a cabo estas tareas son el grabador, cámara fotográfica, filmadora y notas escritas.

---

1 La historia oral se basa en los testimonios que sobre hechos reales, protagonizados por hombres, que han acontecido en un cierto momento del tiempo y en algún lugar del espacio, y que se convierten así en un "presente histórico" que se quiere estudiar. La historia vista así no es pasado, se ha transformado en un presente al que se quiere captar con todos su matices, pero apoyados por testimonios. Las fuentes siempre existen, pero son de muy diversa índole y localizarlas y "hacerlas hablar" como nos enseñaron los maestros de la escuela de "Annales", es misión del historiador.

Las Amenazas y vulnerabilidades a partir de testimonios orales

Para efectuar el análisis de las amenazas y de las vulnerabilidades se toman los datos aportados por los entrevistados. En el caso de los peligros y siguiendo la metodología para el estudio del riesgo, se exponen aquellos relacionados con la frecuencia e intensidad del mismo. Respecto de la intensidad, se establece una ponderación cualitativa definida a priori que es la siguiente: baja – media – alta y muy alta, a la misma en algunos casos dependiendo de la información aportada, se le agregan comentarios vinculados al modo de percibir la magnitud del evento. Cuando los entrevistados mencionan más de un evento, éstos se consignan sólo en la columna de "intensidad" y se trascribe un relato.

Fig.2

Amenaza	Nombre puestero/a	Frecuencia	Intensidad	Fragmento del relato
CRECIENTES*	**Luis Guajardo Puente Chico**	**Año 2007¿? mayo-junio** **Año antes de 1989¿?verano** **Año 1970 marzo**	Alta**, crecida comienza en la noche (en horas de la mañana el agua llega al patio del puesto entre 4 y 6 horas).** Alta **(rotura de puente chico de Chenque- Co, agua circulaba por arriba del puente).** Muy alta**, crecida súbita después de intensa lluvia (destruye el puesto, corrales, huerta, mueren dos niños)**	E1- … ¿cuándo usted estaba en Chacay Co hubo alguna creciente que se acuerde que allá sido muy brava?... L -… *Mire la más brava (silencio) fue en 70, creo que más brava que esa no, esa se llevó a los críos y no quedó ninguna casa*… (silencio) E1-¿Había llovido mucho? L-… *mucho, si, y se despegó un pedazo, un pedazo de falda de cerro y se vino arriba de las casas* (silencio) E1-… ¿se vino directamente?... L-… *claro, le pegó el golpe al arroyo a las casas y encima se vino la avenía también... lo que nunca más quedó rastro de puesto, nada, nada*... E1-… ¿y ¿quiénes vivían ahí? L-…*mi mamá y mi papá y los dos nietos que tenían*... E1-…¿los chicos dónde estaban? L-… *y ¡jugando andarían! por hay vaya a saber*… E1-…¿dónde los encontraron? L -…*acá en el río... y al mes me parece que halló el último..., al varoncito, (silencio) de aquí del puente pa rriba,...la nena del puesto Carino al lado arriba, la encontraron*…
	Onofre Cerda Rincón de Los Palenques	**Año 2008 mayo** **Año 2009 verano¿?**	**Alta la crecida comienza en la noche (el agua llega al patio del puesto)** **alta** **"La crecida comienza en la noche (el agua llega al patio del puesto, acompañada de granizo y rayos)**	O- ...*El año pasado para el temporal de agua ese que cayó en mayo*... E1-... ¿se le vino el agua al puesto o no?... O-…*esa viene a dar ahí y se hace una laguna la que corre… se hace una laguna ahí…ahí en el patio, una laguna muy re grande.* Y *un verano…. Una tormenta una noche cuando yo me levante a ver si paso la tormenta pero veía una laguna que pasaba por ahí alado donde esta el perro echado ahí si, yo no me quede mas desde que esta la laguna...* *...este año ha sido puro temporales de agua nomás, pero mucho muy grande*...
	Juan Yañez Arroyo El Difunto	**Año (no menciona)**	**Alta** **(corte de caminos accesos al puesto)**	E1- ... ¿el camino se le corta con las crecientes?... J-… *si…, también, si cuando llueve, no ve allá que no se usted donde se monta el caño a la vuelta allá, que baja el arroyito en el cañadón ese, hay estamos nos tomó trabajo de una semana, pero una semana de póngale no mas con el Moya, que si se hizo un socavón y lo cortó*...
	Elsa Rosa Guajardo y Elisa del Carmen Suárez Arroyo El Durazno	**Antes de 2008? Año 2008 mayo**	**Media * (arroyo creció pero menos que en el 2008).** **Alta el agua llegó hasta el cerco (potrero con alfalfa)**	El- ...*para esa lluvia de mayo, aaah que ya creíamos que se venía aquí el arroyo*… Li-… *salió acá por atrás del seco…, ya venia saliendo acá, entonces ya en esa instancia dejo de llover y se fue*… E1-¿por cual cerro bajo doña? Li-… *por ese seco que hay ahí, por ahí vino a dar el golpe de agua aca, muy grande venía*… E2 ¿ese trajo la roca grande? ¿Esa? El-… *claro no ve que las montones de piedras que tiene por ahí*...
	Eliseo Carrasco y Susana Sepúlveda	**Año 2008 mayo**	**Alta La crecida comienza a partir de las dos horas. Llegó hasta el cerco (potrero**	E-… *te llueve una hora, dos horas y entras a ver que ya llega la creciente, empieza a crecer el arroyo, así cuando te llueve*... *….porque trae montes enteros a veces te lo deposita de un lado y el*

Entrevistados por Amalia Ramires, Eduardo Chamorro y Ernesto Ovando; Paraje Chenque Co, Distrito Río Grande, Malargüe, Agosto- Setiembre de 2009. E1 entrevistadora Amalia Ramires, E2 entrevistador Eduardo Chamorro, E3 entrevistador Ernesto Ovando.

Entrevistados L: Luis; O: Onofre; J: Juan; El: Elsa; Li: Elisa; P: Patricia; E: Eliseo; Ar: Ariel; F: Felipa; J: Josefa; Ch: Desiderio (chello); R: Ricardo

** Se utiliza el término crecientes para designar a los aluviones ya que así lo llaman los puesteros del lugar.*

¿? No se recuerda el año exacto

Respecto de las crecientes, se percibe que la intensidad se detecta por algunos parámetros tales como, el momento en que el arroyo comienza a crecer, cantidad de horas que permanece con gran caudal, altura del caudal, acercamiento del cauce al puesto, corte de caminos, destrucción total o parcial de las instalaciones del puesto y abandono del mismo.

Ubicación de puesto en el lecho mayor del Arroyo Chenque Co, y canalización de parte del curso hacia el mismo. Der. cárcavas dejadas por un afluente después de una crecida

Fig. 3

Amenaza	Nombre puestero/a	Frecuencia	Intensidad	Fragmento del relato
NEVADAS	Luis Guajardo Puente Chico	Invierno de 1950-53¿? 1965-70	Muy alta (más de 2 m. de nieve) puesto aislado Alta (más de 1m)	E1-…¿se quedaron alguna vez encerrados por nieve? L-…*si nos quedamos encerrados un año, se cerró la puerta, hubo que salir por abajo*… E1-… ¿tapó la casa la nieve? L-…*claro tapó*… E1- …Y ¿cuánto nevaría? L- …*yo no recuerdo pero pregúntele a cualquiera de eso, de las nevadas del 53 ehh, ¡que nieve de haber mucha!…,… yo taba chico*… E1-… ¿más de dos metros debe haber nevado? L-…*si más si*… E1- y ¿cómo hicieron la escavaron (a la puerta) y salieron por abajo? L-…*si por abajo*…
	Onofre Cerda Rincón de Los Palenques	1953 temporal de nieve en Poti malal 2006 2007 Septiembre ¿?	Muy alta (3m) Media (40cm) temporal de agua y nieve baja (menos de 40cm) Nevó entre uno y dos días, cima del cerro Rincón de los Palenques ¿? aproximadamente 1 m (panza del caballo). En la base (30cm)	O- *...porque hubo una nevada muy grande, entonces buscó para este puesto él, porque quedo allá quedó sin cabras, quedaron 150 cabras creo a él...* E1-... *osea ustedes están en este puesto desde el 53...* O-… *desde el 53 si…,ese año cayó temporal de nieve ese, uno que cayo en agosto un año, vino la policía me vino a ver... apoyar a mi para que no fuera a salir yo solita así...* A: y ¿se acuerda cuanto nevó mas o menos? O- *...y aquí estaba como, como 40 centímetros la nevada levanta"...,el año pasado nevó pero no tan onda la nieve"..., dice Raúl que aquí quedó delgadita y encima le llegaba a la panza al caballo...*
	Juan Yañez Arroyo El Difunto	Octubre -1978 – 1983-84?	Muy alta Actualmente se observa una disminución de la intensidad de las nevadas.	E1-...¿es muy nevador, alguna vez ha quedado encerrado por la nieve?... J-… *y si, siempre*… E1-...¿cuánto nieva más o menos?... *J-… y levanta más de un metro, más*… E1-…¡más de un metro! J-…*si hubo un año que no … que no he podido sacar el vehículo..., y hace como 4 años que está nevando menos, que no son como las nevadas que venían antes*…
	Eliseo Carrasco y Susana Sepúlveda Ojo de Agua	2002 ¿? "aproximadamente 7 años"	Muy alta (más de un metro) en invierno	E-… *si me acuerdo de una que tuve que rescatar a los guardaparques en ese tiempo …. no me voy acordar pero creo que era Orozco…. "Se cortó todo acá …llegaba a donde uno llama la carona, le llegaba la nieve al caballo..." "....iba con dos caballos..."* E1-... ¿o sea que que nevó más de un metro?... E-... *si si más de un metro...*
	Patricia Aburto y Ricardo Moya Ojo de Agua	Hace aproximadamente 20 años	Muy alta (más de un metro)	P-...*si cuánto año harán Juan que nevó que se murieron..., como seis años o siete mas como doce años*… J- …*"no me pude acordar el año"*… P- *….y deben ser como 20 años porque yo tenia la Naty chiquita y la Naty tiene 20 años ya…, allá pa arriba tiene más de un metro...*
	Desiderio Vallejos Josefa Carrasco	Invierno 1994-95 última nevada	Media (50 cm)	E1 ...y acá , por ejemplo desde que están en Chenque- Co cuándo fue la última vez que tuvieron

Entrevistados por Amalia Ramires, Eduardo Chamorro y Ernesto Ovando; Paraje Chenque Co, Distrito Río Grande, Malargüe, Agosto- Setiembre de 2009. E1 entrevistadora Amalia Ramires, E2 entrevistador Eduardo Chamorro, E3 entrevistador Ernesto Ovando.

Entrevistados L: Luis; O: Onofre; J: Juan; El: Elsa; Li: Elisa; P: Patricia; E: Eliseo; Ar: Ariel; F: Felipa; J: Josefa; Ch: Desiderio (chello); R: Ricardo

¿? No se recuerda el año exacto

En cuanto a las nevadas, la magnitud se mide no sólo por la cantidad de nieve caída sino por el impacto que produce en sus actividades cotidianas, por ejemplo, aislamiento del puesto, corte de rutas, muerte de animales. Asociada a este evento aparece en varios relatos otro peligro como lo son las" heladas", que no se analizan en este trabajo.

Nevada en las inmediaciones del Puesto Arroyo El Difunto. Izq. Primer plano corte de camino de acceso a caverna de Las Brujas

Fig.4

Amenaza	Nombre puestero/a	Frecuencia	Intensidad	Fragmento del relato
VIENTOS	**Onofre Cerda Rincón de Los Palenques**	Otoño	Muy alta derribó sauces	O- *...acá muy refuerte el viento, pega muy refuerte...,pero aquí usted sabe esto es un zumbido cuando corre viento que no se siente ni la radio…,como seria el remolino pa voltear semejante sauce, lo pescó y lo voltió...*
	Elisa del Carmen Suárez, Puesto Arroyo El Durazno	Otoño- octubre	Alta derribó árboles	El-*... muy fuerte no...pero voltea arboles....* Li-*... en noviembre hubo un viento muy fuerte este año que pasó por poquito no cayó arribita del gas don …..* *... y después en diciembre otro viento fuerte, quebró un árbol de ahí..., están muy peligroso estos arboles, yo les tengo miedo cuando corre viento...son viejos...*
	Eliseo Carrasco y Susana Sepúlveda Ojo de Agua	Otoño y primavera	Alta (voladura de barro de techo)	E-*...uno dice en septiembre corre viento y capaz que no te corre viento, A veces te corre más viento en octubre… y bueno así,..en mayo también ..* *...no no no tiro árbol ni solamente los techos que bueno lo… viste le saca el barro y eso…,el barro es que desaparece… y vientos tan fuertes...*
	Lucho Guajardo Puente Chico	Otoño	Alta (derribó árboles, rotura de techos)	L -*... este año hubieron unos vientos fuertísimos, ahora tiempo, en mayo, junio, me parece, y han corrido tantos vientos fuertes...* E1- ¿se le cayó algún árbol? L-*... si ahí se cayó, lo volteó, siempre voltea arboles así el viento...,se cayó uno arriba de la casa...,lo hizo tira, aparte tenía, era techo de retamo y barro no más ...*
	Patricia Aburto Ricardo Moya Ojo de Agua	Mayo- otoño	Alta voladura techo temporal de lluvia y viento	R-*...y acá hay veces que mayo es ma ventoso...* E1...¿le hizo mucho daño el viento? *R- ….el viento y la lluvia, por el tema que de que la casa esta vio que quedó con mucha pendiente, entonces cuando llueve mucho se corre el barro...*
	Ariel Guajardo y Felipa	Otoño	Alta Voladura de techos	E1-...¿Te acordás de que haya habido otro viento fuerte como

Entrevistados por Amalia Ramires, Eduardo Chamorro y Ernesto Ovando; Paraje Chenque Co, Distrito Río Grande, Malargüe, Agosto- Setiembre de 2009. E1 entrevistadora Amalia Ramires, E2 entrevistador Eduardo Chamorro, E3 entrevistador Ernesto Ovando.
Entrevistados L.: Luis; O: Onofre; J: Juan; El: Elsa; Li: Elisa; P: Patricia; E: Eliseo; Ar: Ariel; F: Felipa; J: Josefa; Ch: Desiderio (chello); R: Ricardo

La percepción de la frecuencia de vientos violentos se asocia principalmente a dos estaciones del año, otoño y primavera. La intensidad se asocia no solamente con la velocidad del viento, sino con el impacto de ésta en árboles, techos y ruidos molestos.

Análisis de vulnerabilidad

A partir de la información recabada en las entrevistas, se muestra la percepción de los pobladores respecto del daño que ocasionan las amenazas. Se analiza la vulnerabilidad física, técnica, institucional, económica e ideológica ya que son las más relevantes según los relatos y se muestran en las tablas a continuación por tipo de amenaza.

Crecientes: vulnerabilidad física y técnica

La vulnerabilidad física, se refiere especialmente a la localización de los asentamientos humanos en zonas de riesgo, y a las deficiencias de sus estructuras físicas para "absorber" los efectos de esos riesgos, ésta última también se la conoce como vulnerabilidad técnica (wilches Chaux 1993). En este caso y por las características del peligro se analiza la vulnerabilidad física y técnica ya que se observa una preponderancia de éstas en relación a las demás.

La vulnerabilidad física, es la más importante debida a la localización de los puestos en las cercanías del arroyo o sus afluentes, incluso algunos dentro de la planicie aluvial, por la necesidad de contar con este recurso hídrico tanto para uso doméstico como para bebida de los animales.

Puesto	Vulnerabilidad Física y Técnica de tomas de agua y de puestos	Medidas de mitigación durante la emergencia
Lucho Guajardo Puente Chico	L- ...*ehh., llovió mucho, , llovió toda una noche, y el canal pasa por ahí arriba, pero tiene dos compuertas arriba que buscan el lagua del arroyo, esas compuertas al llover o que esté por llover hay que ir a ponerla que no venga, pero se atravesó monte así y saltó por rriba el agua y agarró un brazo de agua por la playa y virtió al canal otra vez, yo taba ahí en la cocina cuando viene corriendo en la mañana la cal lina y me pego el grito, la gua, yo vi que comenzó a llegar agua ay salí de la cocina que si venia tapao con agua, y ya busqué herramientas y salí pa lla y la cal lina ya vino*...	L- ...*tuvimos que romper el canal y en la cantarilla que hay, llevé la picota y comencé a cortar monte y le comencé a tirar a la cantarilla y le hice una salida*".... *si como 4 o 6 horas tuvimos cortamos monte, piedra, lo que más fácil hallamos*...
Onofre Cerda Rincón de Los Palenques	E1- ...¿ ahh y se le vino el agua al puesto o no? O-*..." esa viene a dar ahí y se hace una laguna la que corre… se hace una laguna ahí…ahí en el patio, una laguna muy regrande. Y un verano…. Una tormenta una noche cuando yo me levante a ver si paso la tormenta pero veía una laguna que pasaba por ahí alado donde esta el perro echado ahí si, yo no me quede mas desde que esta la laguna*..., *porque se deslizo la vara, se cayó la casita por un temporal que cayó en junio, un año de agua también llovía mucho- Amaneció cruzada la vara y la casa comenzó a hundirse hundirse, como a medio día se mando abajo*...	E1- ..."y ¿cómo hacían con esa laguna, esperaban que se fuera?... O-*...y después hay que hacerle acequiecita pa que corriera palla, pa que puedan juntar ahí*... E1-... ¿y nunca más se volvió a caer? O-*...no porque como ya …..y como teníamos esa quedó afirmando la grande*...
Eliseo Carrasco y Susana Sepúlveda Ojo de Agua	E- ... *en esa creciente uno tiene la toma de agua que viene al puesto y la dejaron …y las borraron esa no quedo nada"..." y uno para volver a traer agua al puesto..., y era imposible bueno donde había quedado el agua abajo tenias que trabajar…* E1-... y ¿por las mismas tomas no se te venía el agua?... E-*...si, si, si también se viene, si se vino..., si se acercó mucho. Y la otra cruzada que hizo por acá ya se acercó como 15 metros de donde está el cerco ese, que ahí agua yo no había visto nunca pasar y la vez pasada pasó por todo eso, y se acercó hasta los árboles eso que están ahí los grandes, también destapo las raíces*... *...En el rial que hicimos nosotros queríamos que por ejemplo del agua sacarle de los puestos...en septiembre... los puestos quedaban todos con agua como estaba anteriormente y llegó septiembre y pasó septiembre y llegó octubre y no teníamos el agua*....	E-*...eso lo tuvimos que cortar todo a pala... y hacer en las tomas los socavó así se hiciera un socavón para que el agua…bueno*... E1- …osea que¿ todas las defensas que han hecho las han hecho ustedes?... E- ...*claro*...
Ricardo Moya Ojo de Agua	R-... *Si a parte vió antes por costumbre el puesto siempre se hicieron a la orilla del arroyo, serca del agua cierto, todos los puestos si usted los mira ahí el de Carrasco nomás que es un puesto antiguo también*... E_3 ¿esta pegadito a la? R-... *si vio que le comió mucho el arroyo, creo yo que con otra creciente más ya*... E1-¿se lo va a llevar? R-...Sí...	No menciona
Desiderio Vallejos Josefa Carrasco Arroyo Chenque Co	J- ...*el problema con el arroyo es que se vino muy cerca...,si hubiera seguido se lleva los arboles, esos que hay ahí* ... E1-...osea ¿que el agua le llegó al patio? CH-...*claro, y dos años seguidos porque una anterior... hay una anterior*… J- … *anteriormente otra crezca, otra creciente*…	Ch...*Trajo una maquina pero la vez que iba a traer algo la maquina estaba desarmada, no era capaz de levantar una piedra la máquina, tenía que echar las piedras a de ese lado, le echaba tierra…,ni levantarla y esa le hizo un mayoreo, pero el año pasado con la…que se llevó todo*...

Fig. 5. Entrevistados por Amalia Ramires, Eduardo Chamorro y Ernesto Ovando; Paraje Chenque Co, Distrito Río Grande, Malargüe, Agosto- Setiembre de 2009.

E1 entrevistadora Amalia Ramires, E2 entrevistador Eduardo Chamorro, E3 entrevistador Ernesto Ovando.

Entrevistados L.: Luis; O: Onofre; J: Juan; El: Elsa; Li: Elisa; P: Patricia; E: Eliseo; Ar: Ariel; F: Felipa; J: Josefa; Ch: Desiderio (chello); R: Ricardo

En la mayoría de los puestos cuando la crecida es alta el agua llega hasta los mismos y los inunda formándose lagunas al estar topográficamente más bajo. Esta situación se potencia con la presencia de "tomas de agua" que tienen la función de llevar mediante canales y acequias el agua hasta la vivienda, ya que parte del aluvión se canaliza por estas vías, tal como se menciona en algunos relatos. Junto a la vulnerabilidad física se suma la técnica ya que los materiales con que se realizan las "tomas de agua" no son lo suficientemente resistentes a la magnitud de la amenaza, porque están diseñadas con material suelto (rocas y vegetación natural de la zona), en muchos casos quedan totalmente colapsadas.

Las medidas de mitigación inmediatas que se toman después del evento, se vinculan principalmente con el trabajo comunitario entre vecinos para "cortar la corriente de agua" hacia los puestos mediante canalizaciones y/o reconstrucción de "tomas" con materiales del lugar y herramientas manuales (pala, picota, etc.), prevalece el trabajo humano ya que la incorporación de maquinaria y de recursos técnicos es prácticamente nula.

Puesto	Vulnerabilidad Física y Técnica de líneas vitales: caminos y huellas	Medidas de mitigación durante la emergencia
Ariel Guajardo Felipa Fuentes Puesto Las Bardas	E1- ...y ¿qué pasaba cuando crecía el arroyo?... F: *se nos cortaba el camino, si antes traficaba los camiones por acá*"... Ar- *...no, no hace muchos años porque…. Estaba por aquí el camino, por el arroyo harán unos 20 años más… atrás....*	No mencionan
Juan Yañez Arroyo El Difunto	E1- ... ¿el camino se le corta a veces con las crecidas?" J- ...*" si, los arroyitos que bajan así de costado..., si cuando llueve , no ve allá... donde se monta el caño a la vuelta allá, que baja el arroyito en el cañadón ese,... que si se hizo un socavón y lo cortó...*	J-...*nos tomó trabajo de una semana, pero una semana de póngale no más con el Moya"...así que monte, tierra y tierra. Nos costó mucho alcanzar el nivel arriba, aparte que era muy ancho...*
Lucho Guajardo Puente Chico	L-... *Entonces fue cuando tuvo desmoronao el puente chico..., saltaba el agua por arriba del puente de los laos, si,... mucha agua y comienza a desmoronar el relleno...*	No menciona
Onofre Cerda Rincón de Los Palenques	O-...*El año pasado para el temporal de agua ese que cayó en mayo lo corto, lo hizo tira ah"... (se refiere al puente sobre camino de acceso al puesto)*	No menciona

Fig. 6. Entrevistados por Amalia Ramires, Eduardo Chamorro y Ernesto Ovando; Paraje Chenque Co, Distrito Río Grande, Malargüe, Agosto- Setiembre de 2009.

E1 entrevistadora Amalia Ramires, E2 entrevistador Eduardo Chamorro, E3 entrevistador Ernesto Ovando.

Entrevistados L.: Luis; O: Onofre; J: Juan; El: Elsa; Li: Elisa; P: Patricia; E: Eliseo; Ar: Ariel; F: Felipa; J: Josefa; Ch: Desiderio (chello); R: Ricardo

Las líneas vitales como las vías de acceso son sin duda fundamentales para la conectividad de los puestos con el entorno cercano- por ejemplo Bardas Blancas- y el más lejano – ciudad de Malargüe-. Las condiciones del sitio – topografía accidentada, cauces transversales al eje vial, altitud, suelos poco desarrollados, precipitaciones convectivas, escasa cubierta vegetal- sumada a la precariedad de los caminos y huellas, todas de tierra y/o ripio en mal estado de conservación, con escasas obras de arte diseñadas por los puesteros con los recursos de la zona(rocas, vegetación, caños), ya que excepto el puente chico sobre Arroyo Chenque-Co ubicado en la ruta 40 es el único realizado con material de hormigón, no obstante queda colapsado cuando se producen aluviones de gran magnitud ya que no fue diseñado acorde a la intensidad de este peligro, provocan un alto nivel de vulnerabilidad física y principalmente técnica por el tipo, calidad y antigüedad del material utilizado en la construcción.

Nevadas y pérdidas económicas

Puesto	Vulnerabilidad económica	Medidas de mitigación pre y durante el evento	Medidas de mitigación pos evento
Lucho Guajardo Puente Chico	*..." había un caballo que se había aa recostado en un cortadera grande, ta pegao ahí , con la escarcha, se había quedado pegao y no, no había caso de sacalo taba pegao de la cola,... que si unas velas así, una escarcha... E1-..."¿le mató muchos animales esa nevada?"... L-... siiii mató no tan solo a nosotros, por todos lao...* *...nevadas como 65, 70 Si se me murieron muchos animales, a mi se murieron chivas, en las cuevas esas , en esas bardas derecho, allá arriba en el pedrero, se me murieron como 100 chivas y las ovejas que tenía, se apretaron en las cuevas de la barda ve, parece que se aficean , con el frío se meten a las cuevas , se meten muchas cabra...*	No menciona	No menciona
Onofre Cerda Rincón de Los Palenques	*O-...le agarró un piño de cabra arriba del cerro y allá se encerraron, y allá se murieron, allá se murieron cabras...*	O-...*un día y amaneció nevando y no le hicieron caso el piño y cuando ya vinieron a verlo al otro día cuando le faltó, faltó, así que...*	O-...*Pasó el temporal la fueron a campiar las hallaron encerradas y unas pocas muertas. Y para sacarle el encierro y ahí uno tiene que hacerle huella con los caballos pa poderlo sacar, pauque punteen las cabras gordas y usted sabe lo que les cuesta...*
Eliseo Carrasco y Susana Sepúlveda Ojo de Agua	E1-...¿Se te quedaron encerradas las chivas?... E-... *si si las chivas si... y nosotros tenemos tala ahí en el cerro en este cerro grande...*	E-... *pero luego la tuvimos que echar para el otro lado y en un aguaviento donde la nieve bueno esta más delgada y todo eso, ahí vas buscando los animales donde uno vea que van a salir mejor...* E-...*Nos tenemos que quedar en el puesto lo menos que uno tiene que hacer es salir de la casa que uno está, porque es el refugio que uno tiene y … y bueno no se tiene que desesperar ni nada y … y enfrentarlo como sea... cuando vienen los meses de invierno uno se va preparando con la leña y…y va preparando con todas las necesidades que va a tener"...*	

Fig. 7. Entrevistados por Amalia Ramires, Eduardo Chamorro y Ernesto Ovando; Paraje Chenque Co, Distrito Río Grande, Malargüe, Agosto- Setiembre de 2009. E1 entrevistadora Amalia Ramires, E2 entrevistador Eduardo Chamorro, E3 entrevistador Ernesto Ovando.
Entrevistados L: Luis; O: Onofre; J: Juan; El: Elsa; Li: Elisa; P: Patricia; E: Eliseo; Ar: Ariel; F: Felipa; J: Josefa; Ch: Desiderio (chello); R: Ricardo

Las pérdidas económicas que provocan nevadas intensas de más de un metro de altura, son significativas ya que el manejo de los piños es a campo abierto y sin incorporación de pastura artificial. Los relatos evidencian las cuantiosas muertes de caprinos que utilizan como único resguardo, cuevas y aleros naturales para protegerse durante grandes temporales. La muerte masiva de animales se produce principalmente por asfixia en estos refugios, también por congelamiento – es sabido que inmediatamente después de un temporal se producen heladas intensas- o por hambre por que la pastura queda bajo nieve.

Durante la ocurrencia del evento, cuando las condiciones meteorológicas lo permiten, se trata de buscar sectores dentro del área de pastoreo menos vulnerables a la nieve, ya sea porque están más resguardados del meteoro y /o porque tienen una vía de salida más fácil para el piño ni bien termina el temporal y/o porque permiten el ramoneo de algunas especies arbustivas.

Las medidas que toman los puesteros una vez que cesa el temporal, se relacionan el diseño de huellas para que los animales puedan salir del sector nevado y la búsqueda de posibles sitios más aptos para ser alimentados. En el caso de los equinos se les suministra pastura artificial. Asimismo, la familia se prepara para enfrentar el riesgo mediante la realización de varias tareas previas cuando comienza la etapa otoñal e invernal , tales como aprovisionamiento de leña para combustible, víveres, acondicionamiento de techos, etc.
La vulnerabilidad económica es la más importante ya que la cría de ganado constituye el único medio de subsistencia de los puesteros y por el tipo de manejo dependen de las condiciones de naturales para la cría y engorde del los piños.

VULNERABILIDAD FÍSICA DE LOS PUESTOS	MEDIDAS DE MITIGACIÓN POS EVENTO
Frente a nevadas **Entrevista a Patricia Moya y Juan Yañez** P-....*y deben ser como 20 años porque yo tenia la Naty chiquita y la Naty tiene 20 años ya...* J- *...fue ese año que se les cayó la casa* P -*...se nos cayó la casa a nosotros también…* E1-...¿se les cayó la casa con la nieve?... P-...*si con el agua se deformó y se cayó...* **Entrevista a Don Lucho Guajardo** L-*...nos quedamos encerrados un año, se cerró la puerta, hubo que salir por abajo... si se cayó una casa...*	P-... ese año nos fuimos a la casa suya, estuvimos como 4 días... J-...claro... E1-... ¿cómo hicieron, escavaron (a la puerta) y salieron por abajo? L-*...si por abajo... y si, después cuando taba bueno el día ha trabajar con nieve, a sacar nieve…*
Frente a crecientes **Entrevista a Don Lucho Guajardo** **Puente Chico** L-*... mire uste, el susto, uste sabe lo que los costó pa cortar el agua, algo, allí tuvimos que romper el canal y en la cantarilla que hay...* **Entrevista a Ricardo Moya** **Ojo de Agua** R-*... nosotros para el aguacero que jue para el año pasado abandonamos la casa …,estuvimos tres días en los corrales...*	L- *… y allí vino este..., Adasme, porque como el agua llega allá donde el canal de ellos, asique vino a ver qué pasaba y cuando ya lo vio trabajando ya se fue y se prendió hay al trabajo, y así ya cortamos...si como 4 o 6 horas tuvimos, cortamos monte, piedra, lo que más fácil hallamos…* E-3... ahh estuvo bravo ... R-*... no ya había que entregársela...,que se la lleve para que nos haga una nueva el delegado pero no...*
Frente a vientos **Elsa Rosa Guajardo y Elisa del Carmen Suárez** **Arroyo El Durazno** Li- *...y estaban los chivatos...,así que los chivatos los agarramos y los dejamos todos encerrados en el corral y si no no se nos matan no se cuantos chivatos y justo donde siestiaban los chivatos ahí.....,y después en diciembre otro viento fuerte , quebró un árbol de ahí...* **Onofre Cerda** **Rincón de los Palenques** *O-...por Dios que estuvo fuerte, si allí detrás de la huertita que tengo hay un sauce en el suelo, como seria el remolino pa voltear semejante sauce, lo pescó y lo voltio había corrido mucho viento amaneció el sauce en el suelo... esos álamos que... son muy altos … la vez que voltee alguno va a venir a la casa, arriba de las casas, menos mal que el sauce se movió ..salió pa ya…, si estos son muy viejos estos árboles, de puro viejo se esta pela…* **Lucho Guajardo Puente Chico** *L si ahí se cayó, lo volteó, siempre voltea arboles así el viento,...* E1-...¿alguna vez le cayo alguno arriba de la casa?... *L... si lo hizo tira, aparte tenia, era techo de retamo y barro no más ...*	No menciona O- *lo sacaron después ,estaba en el patio...* E1-...¿o sea que este techo es nuevo?... *1. si este techo es nuevo , de estas cuando yo llegué no hay ni una …A Cuántos años tendrán estos árboles? Cuándo los habrán plantado?* L-... y estos árboles, capaz como el 50 habrá sido... E1-... ¿son árboles viejos?... L-... si ... E1-...¿y usted los poda? *L-...no no hago nada, los vemos así, los hemos plantado nosotros, lo despuntamos así...*

F*ig. 8*

El puesto y sus instalaciones (corrales, potreros, quinchas, etc.) se convierten en elementos vulnerables frente a la ocurrencia de las tres amenazas detectadas, tal como lo expresan los entrevistados en diversas situaciones que han debido enfrentar.

En el caso de la nieve el peso de la misma en techos con poca inclinación y de barro y paja provoca su desplome. Frente a las crecientes y como se mencionó anteriormente la ubicación de los puestos respecto del arroyo y sus afluentes,provoca la inundación de éstos debiendo ser abandonados en ocasiones críticas.

Los vientos violentos generan la caída de árboles y la voladura de techos. La mayoría de los puestos posee arboledas antiguas ya que tienen más de cien años de antigüedad y los ejemplares no han sido cambiados por renuevos. Es particularmente crítica la situación de los sauces ya que la resistencia a vientos fuertes es menor que el álamo, convirtiéndose en un riesgo no sólo para la vivienda e instalaciones sino también para la vida misma de las personas. Las medidas de mitigación que realizan son recambio de techos, pero no existe una poda adecuada, siendo otra de las causas que potencian el riesgo.

Puesto Rincón de Los Palenques: caída de sauces por vientos fuertes. Vulnerabilidad del puesto frente a la potencial caída de forestales antiguos.

Puesto	Vulnerabilidad Institucional
Onofre Cerda Rincón de Los Palenques	O-... *esos álamos que son muy altos los álamos, dicen que se puede andalear … la vez que voltee alguno va a venir a la casa, arriba de las casas, menos mal que el sauce se movió ..salio pa ya…* E1-...y ¿nunca han probado así de cortarlos, que les ayuden? O-...*no porque han quedado algunos de venir a cortar con la moto cierra y no vienen nunca, no han venido nunca...*
Eliseo Carrasco y Susana Sepúlveda Ojo de Agua	E-...*nos trajeron unos…los gaviones esos que traen, nosotros de trabajo ya estábamos pasados, no queríamos trabajar más, nosotros lo que queríamos era una maquina..., yo ahí en la toma de agua lo… los tengo hecho... y yo un día viniendo una maquina que no se, que estaba en el Alambrado no se ha dónde estaba una maquina de la municipalidad, yo me la encontré ahí en Bardas y la traje casi a la fuerza si no podía pasar el agua. Así que vino aquí, una cosa que uno lo pide, no lo pide nunca y cuando lo pide es imposible que llegue..., con una máquina en 10 o 20 minutos pero hacerlo a mano...*
Patricia Aburto y Ricardo Moya	R-... *si vio que le comió mucho el arroyo, yo creo yo que con otra creciente más ya* E1-¿se lo va a llevar? R-... *si, y como son… va el delegado todos se disculpan como es campo privado no...no hacen nada...*
Desiderio Vallejos y Josefa Carrasco	*J-...hicieron una defensa...* E1- ...y ¿quienes hicieron la defensa? Ch-... *Hidráulica...fue la maquina igual hasta la casa a arreglar, pero acá un desastre como han dejado* E1- ...¿ por qué? Ch-... *y porque lo ha dejado…lo dejó muy cerquita ahí si hubiera seguido, se lleva los árboles, esos que hay ahí se los lleva...esa vez no nos dieron ninguna solución porque vino Defensa Civil y sólo vino a mirar nada más, solución no tuvimos ninguna...*

Fig. 9. Entrevistados por Amalia Ramires, Eduardo Chamorro y Ernesto Ovando; Paraje Chenque Co, Distrito Río Grande, Malargüe, Agosto- Setiembre de 2009. E1 entrevistadora Amalia Ramires, E2 entrevistador Eduardo Chamorro, E3 entrevistador Ernesto Ovando.
Entrevistados L.: Luis; O: Onofre; J: Juan; El: Elsa; Li: Elisa; P: Patricia; E: Eliseo; Ar: Ariel; F: Felipa; J: Josefa; Ch: Desiderio (chello); R: Ricardo

Otra de las vulnerabilidades analizadas es la institucional, que se evidencia en gran parte de los relatos. Se entiende por vulnerabilidad institucional como la obsolescencia de las instituciones parar dar respuesta frente a un evento adverso. La falta de una respuesta rápida y adecuada frente a la ocurrencia del peligro y la puesta en práctica de medidas de mitigación a mediano y largo plazo es una de las mayores inquietudes de los pobladores.

Vulnerabilidad Ideológica frente a las amenazas

VIENTO
Entrevistada Elisa del Carmen Suarez, puesto Arroyo El Durazno

Li-...*yo me acuerdo de ese que cayo ahí, yo fui a mirar los chivatos en el corral , cuando vengo y sonaba el palo y crujía, metió tanto miedo que llegue un remolino y me dentre para acá. Teníamos un santito ahí de la Marisa del divino niño, grandote así era y yo conversaba con el santo y le dacia yo: divino noño le decía yo que no …que si se cae ese árbol que vaya a caer arriba de la casa lo único que le pido a mi Dios que caiga a un lado. ¡Cuando sentimos un pua, se manda el árbol abajo y menos mal que no cayo arriba*!...

CRECIENTES
Entrevistada Josefa Carrasco, Puesto Arroyo Chenque Co
J-...*el problema con el arroyo es que se vino muy cerca ya que no se si… Dios quiera que nunca se venga igual que como se vino esa vez....*

Fig 10. Entrevistados por Amalia Ramires, Eduardo Chamorro y Ernesto Ovando; Paraje Chenque Co, Distrito Río Grande, Malargüe, Agosto- Setiembre de 2009. E1 entrevistadora Amalia Ramires, E2 entrevistador Eduardo Chamorro, E3 entrevistador Ernesto Ovando.
Entrevistados L.: Luis; O: Onofre; J: Juan; El: Elsa; Li: Elisa; P: Patricia; E: Eliseo; Ar: Ariel; F: Felipa; J: Josefa; Ch: Desiderio (chello); R: Ricardo

Por último, la vulnerabilidad ideológica, entendida como la concepción del mundo y del rol de los seres humanos en el mismo, se refleja en la forma de percibir y reaccionar durante la amenaza. Los pobladores, normalmente recurren a la religión cuando el evento se convierte o puede convertirse en una catástrofe.

Resultados Esperados y perspectivas

De lo analizado hasta el momento, se evidencia que los puestos y sus instalaciones son más vulnerables a crecientes y a vientos violentos, en el primero de los casos se debe principalmente a la localización física de éstos respecto de los cauces fluviales, en el segundo caso la vulnerabilidad se produce por la antigüedad de las especies arbóreas, su ubicación respecto del puesto, corrales y potreros y el tipo de forestal ya que no todos tienen la misma capacidad de resistencia frente a vientos de altas velocidades.

Las nevadas intensas producen pérdidas significativas en el ganado, situación que se agudiza por el tipo de manejo de la actividad, la vulnerabilidad económica en años con precipitaciones níveas cercanas o superiores al metro son en muchos es total.

El puesto y sus instalaciones tienen un nivel alto de exposición frente a este evento, no sólo por la intensidad con que se manifiesta la amenaza sino por el tipo y estado de mantenimiento de los techos de las viviendas.

Las vías de acceso son una de las instalaciones críticas más vulnerables frente a las crecientes y nevadas, condición que se da no sólo por las condiciones naturales del sitio sino por la inadecuada infraestructura y escaso mantenimiento que presentan, éste último realizado es su mayoría por los mismos pobladores con herramientas manuales. El aislamiento que provocan los cortes frecuentes de los accesos potencia los niveles de riesgo ya que frente a una emergencia no tienen posibilidad de salir rápidamente del lugar.

Un dato significativo, es que en los testimonios se observan lazos de trabajo comunitario entre los puesteros durante y después de los eventos.

Finalmente, el análisis completo que se concluirá una vez que se realicen todas las entrevistas, permitirá contar con un diagnóstico cualitativo que sumado a datos e información cuantitativa permitirá implementar estrategias interinstitucionales de reducción de la vulnerabilidad en el mediano y largo plazo, tomando como punto de partida la participación de la comunidad involucrada.

Bibliografía

- Alan Lavell; Desastres durante una década; lecciones y avances concpetuales y prácticos en América latina (1990-1999); FLACSO- LA RED; 2000.
- Argüello Rodríguez M.; Riesgo,vivienda y arquitectura; Conferencia en el Congreso ARQUISUR; Universidad de San Juan, Argentina; 2004.
- Bárcenas J.; El Ordenamiento Territorial y la Gestion del Riesgo: la mejor estrategia para el desarrollo sostenible de los territorios; En: Revista CAPRADE; acciones adaptadas del documento “conceptos asociados a la gestión del riesgo de desastres en la planificación e inversión para el desarrollo”. GTZ, Lima, 2006.
- Benadiba L.; Plotinsky D.; Introducción a la Historia Oral; Buenos Aires;Facultad de Filosofía y Letras, UBA; 2007.
- Cardona Omar D.; Evaluación de la amenaza, la vulnerabilidad y el riesgo; “Elementos para el ordenamiento y la planeación del desarrollo”; 2006.
- Cardona Omar D.; Evaluación de la amenaza, la vulnerabilidad y el riesgo; “Elementos para el ordenamiento y la planeación del desarrollo”; 2006.
- Mansilla E.; Riesgo y Ciudad http://www.desenredando.org
- Manual sobre el manejo de peligros naturales en la planificación para el desarrollo regional integrado; Washington D.C.; OEA; 1993.
- Ovando E.,“Historia de la escuela de Carapacho contada por los puesteros” 2008, Inédito).
- Ovando E.y Ramires A.; Recuerdos de Ceniza, memoria y prevención. “El impacto de la Erupción del Quizapu (1932) en Malargüe a través de testimonios orales”; Malargüe; ICES; 2008
- Taylor S.J. y R. Bogdan; Introducción a los métodos cualitativos de investigación. La búsqueda de significados, PAIDÓS.
- Ramires A.; “La migración campo- ciudad, en el departamento de Malargüe, mediante una historia de vida”, 2004, inédito
- Wilches-Chaux, Gustavo; La Vulnerabilidad Global; 1998
- Foto de tapa: puesteros de Chenque Co, Agosto, setiembre de 2009.

Agradecimientos

Se agradece la colaboración para la realización de esta primer etapa de trabajo a las siguientes personas e instituciones:

- Jefe de zona sur de Áreas Naturales Protegidas Téc. Arturo Bales;
- Coordinador Logístico de zona sur Guardaparque Nacional Sr. Simón Ocampo
- Equipo de guardaparques Reserva Caverna de la Brujas: Téc. Emanuel Cruces, Téc. Ricardo Abraham, Sr. Guillermo Sánchez, Téc. Pablo Toledano, Téc. Jairo Espinoza.
- ICES- International Center for Earth Sciences- Regional Malargüe.
- Walter Samchuk, Rocio Samchuk y Alfredo Ramires.
- A las familias puesteras por sus valiosos aportes sobre la temática.

CARACTERÍSTICAS GEOQUÍMICAS DE UNA REGIÓN GEOGRÁFICA DE LA RIOJA Y SU VINCULACIÓN CON LOS PATRONES DE METILACIÓN MOLECULARES DEL ADN EN LA EXPRESIÓN FENOTÍPICA ATRIBUIBLE AL GEN HSR (HAND SKILL RELATIVE). EVIDENCIAS PRELIMINARES.

Ratti, S. (1, 2, 5)
Carignano,C. (3)
Cioccale, M. (4)
Vizioli N.M. (6)
Fernández-Turiel, J.L. (7)
Gimeno, D.(8)
Alvarez, E.O. (1, 2)

(1) Laboratorio de Neuropsicofarmacología Experimental, Área de Farmacología, Facultad de Ciencias Médicas, Universidad Nacional de Cuyo e IMBECU-CONICET.
(2) Instituto de Ciencias Ambientales (ICA), Universidad Nacional de Cuyo.
(3) Centro de Investigaciones en Ciencias de la Tierra (CICTERRA, CONICET-Universidad Nacional de Córdoba.
(4) Universidad Nacional del Sur-Universidad Nacional de Córdoba.
(5) IUCS, Fundación H. Barceló, sede La Rioja.
(6) Departamento de Química Analítica y Físico-química, Facultad de Farmacia y Bioquímica, Universidad de Buenos Aires, Argentina-CONICET.
(7) Instituto de Ciencias de la Tierra J. Almera-CSIC, España.
(8) Facultad de Geología, Universidad de Barcelona, España

Introducción

En una etapa anterior de este proyecto, hemos publicado nuestro interés en vincular los mecanismos de regulación epigenética, esto es, el estudio de las regulaciones que operan para la expresión de los genes sobre el genoma sin afectarlo, con características particulares geológicas de regiones determinadas de la provincia de La Rioja. Se abordó como modelo de este estudio el gen HSR (Hand Skill Relative, OMIM 139900) ubicado en el cromosoma 2p12-q34 del genoma humano. Se analizaron las características fenotípicas, dominancia para el uso de la mano derecha, habilidad cognitivas relacionadas con la lecto-escritura y asimetría cerebral que se dicen vinculadas a la expresión de este gen (Francks et al., 2005). En algunos niños se realizó la extracción de sangre para analizar posteriormente el ADN. La provincia de La Rioja se dividió en dos regiones caracterizadas como región 1 por ser de llanos y mesetas y región 2 por ser montañosa, rica en minas metálicas y no metálicas. Se encontró que la expresión fenotípica del gen HSR en la región 2 está alterada (Ratti et al., 2007). Para discernir si este cambio en la expresión del gen está vinculado o no con los procesos epigenéticos, en el presente trabajo se analizaron los patrones de metilación del ADN en los grupos de niños de ambas regiones.

Materiales y Métodos

Extracción del ADN

Se realizó la extracción de ADN de sangre periférica a 20 niños de ambas regiones con el método de extracción salina (Miller et al., 1988) y se analizó en el genoma entero la relación de citosinas no metiladas respecto de las metiladas por electroforesis capilar de alta resolución (Fraga et al., 2002).

Análisis de la concentración de elementos trazas

La concentración de elementos traza en las aguas superficiales de la región 2 se midieron por espectroscopia de absorción atómica de alta resolución y se la comparó con un estándar establecido en la provincia de Córdoba (Pasquini et al., 2004).

Análisis estadístico

La evaluación de la diferencia de los promedios de concentración de los elementos trazas con los patrones de la provincia de Córdoba, se hizo utilizando la Distribución de Student. La evaluación de la diferencia de las proporciones en las características fenotípicas del gen HSR en los niños de los grupos 1 y 2 de la provincia de La Rioja, se hizo utilizando la Distribución de $\chi 2$. La evaluación de la diferencia de las medianas de las razones citosina no metilada/citosina metilada de los patrones de metilación del ADN de los niños de la región 1 y 2, se hizo usando la Prueba No Paramétrica de Mann-Whitney. Una probabilidad menor que 0.05 se consideró estadísticamente significativa.

Resultados

Las característica fenotípicas en los 40 niños seleccionados en este estudio, se muestran en la Figura 1. En los trastornos de escritura, se detectó alrededor del 65% de los niños de la Región 2 con este trastorno, mientras que menos del 5% de los niños presentaron este desorden en la Región 1. La diferencia fue estadísticamente significativa. En el giro del remolino y en el uso de la mano, aún cuando se encontró una

menor proporción en el primer caso y una mayor proporción en el segundo caso en la Región 2 comparada con la Región 1, las diferencias no alcanzaron significancia estadística.

Con respecto a la concentración de los elementos trazas en la Región 2 (Tabla 1), Se, Te, Cu, Zn, Sr y Mo mostraron valores promedio significativamente superiores a los patrones medidos en los ríos de la provincia de Córdoba (Pasquini et al., 2004).

El análisis por electroforesis capilar de la relación de concentraciones entre la citosina no metilada y la metilada (RCNm/Cm) que se muestra en la Figura 2 reveló que el ADN de los niños de la Región 2 tiene una relación RCNm/Cm significativamente más alta que la de los niños de la Región 1 ($p < 0.01$).

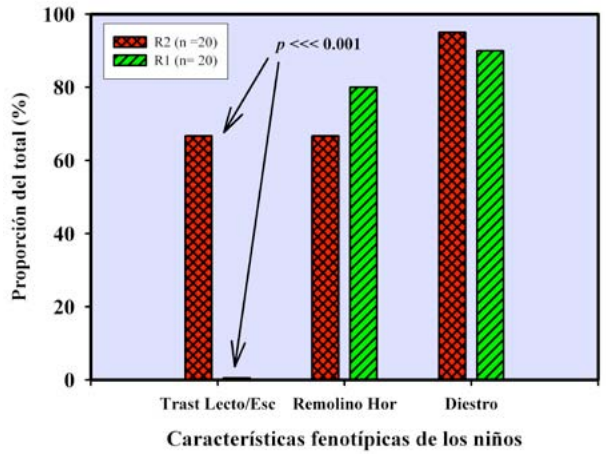


Figura Nº 1. Características fenotípicas atribuibles al gen HSR en la muestra de 40 niños de la provincia de La Rioja. Trast Lecto/Esc = trastornos de lecto-escritura; Remolino Hor = Giro del remolino horario Diestro = uso de la mano derecha.

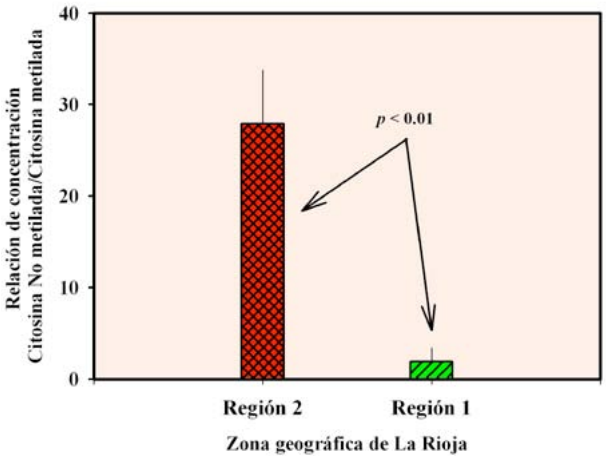


Figura Nº 2. Comparación de la relación Citosina no metilada/citosina metilada del ADN de los niños de las regiones 1 y 2.

Elemento traza	Concentración promedio en agua río/lluvia (µg/L)[1]	Región 2 La Rioja (µg/L, n = 13)	Diferencia con el agua de río *p*
Se	0.686	1.98±0.95±0.26	$p << 0.001$
Te	0.0204	0.0461±0.03±0.0093	$p < 0.05$
Cu	1.27	9.52±13.17±3.65	$p << 0.001$
Zn	6.88	93.49±172.8±47.93	$p << 0.001$
Sr	33.68	320.19±141.28±39.18	$p << 0.001$
Mo	0.47	3.15±1.86±0.51	$p < 0.05$

Tabla Nº 1. Comparación de la concentración de los elementos trazas de la Región 2 con los estándares de Córdoba[1] .

Discusión

Los patrones de metilación son expresión de la regulación epigenética. Los resultados del análisis molecular de los mismos mostraron que la proporción de citosinas no metiladas respecto de las metiladas en el genoma de los niños de la región 2 es diferente de la proporción hallada en la región 1, por lo que se evidencia de manera razonable que hay cambios en la regulación epigenética global en el genoma. Esta evidencia respalda los resultados previamente publicados de las diferencias de la expresión fenotípica del gen HSR encontradas en los niños de la Región 2 (Ratti et al., 2007). Esto sugiere que podría haber una relación entre las modificaciones fenotípicas y los resultados moleculares. Los niveles encontrados en los elementos traza anormalmente elevados en la región 2 permite una primera aproximación de vinculación entre los factores medioambientales determinados por características geoquímicas de ciertas regiones geográficas, con la regulación de los mecanismos epigenéticos. Es posible concluir que a través de la cadena alimenticia y la inhalación de polvos atmosféricos y gases, hay vínculos directos entre la geoquímica y la salud (Browie & Webb, 1980). El presente trabajo contribuye a fortalecer la idea que el estudio de la interacción entre los elementos traza y el genoma es una poderosa herramienta de conocimiento que proyecta la posibilidad de manipulación de estos elementos para fines terapéuticos (Ratti & Alvarez, 2008, 2009).

Agradecimientos

Este estudio ha sido financiado por la Fundación H. B. Barceló, sede La Rioja.

Bibliografía

- Browie, S.H.U.; Webb, J.S.: Environmental Geochemistry and Health, Royal Society London, 216 (1980).
- Fraga MF, Uriol E, Borja Diego L, Berdasco M, Esteller M, Cañal MJ,Rodriguez R. : High-performance capillary electrophoretic method for the quantitation of 5-methyl

1 Pasquini AI et al., Rev Asoc Geol Arg 59(1): 129-140 (2004). Valores que se consideraron parámetros.

2'-deoxycytidine in genomic DNA : application to plant, animal and human cancer tissues. Electrophoresis 23 : 1677-1681 (2002).

- Francks, C.; Maegawa, S.; McAuley, E.; Richardson, A.; Stein, J.; Osshimura, M.; Monaco, A.: A novel imprinted locus on chromosome 2p12 associated with relative hand skill in humans. XII World Congress of Psychiatric Genetics, 9th-13th, October, Burlington Hotel, Dublin, Ireland. Abstract 025, (2005).
- Miller, SA; Dykas, DD ; Polesky, HF. : A simple salting out procedure for extracting DNA from human nucleated cells. Nuc. Acids Res., 16, 1215, (1988).
- Pasquini AI, Lecomte KL, Depetris PJ. Geoquímica de ríos de montaña en las sierras pampeanas : II El río Los Reartes, sierra de Comenchingones, provincia de Córdoba. Revista de la Asociación Geológica Argentina 59(1): 129-140 (2004).
- Ratti, S.; Álvarez, E.O.: Epigenetic processes as evolutionary advanced molecular mechanisms to cope the continuous interaction between DNA and the environment. American Journal of Neuroprotection and Neuroregeneration, 1, 1-7, (2009).
- Ratti, S.; Álvarez, E.O.: Geología Médica y Genética humana: interacción dinámica entre dos disciplinas. Revista Médica Universitaria, Vol. 4, Nº 1, (2008). http://www.revista.medicina.edu.ar
- Ratti, S.; Rearte, S.; Cordoba, P.; Álvarez, E.O.: Differential expression of handedness, scalp hair-whorl direction and cognitive abilities in primary school children. International Journal of Neuroprotection and Neuroregeneration, 4, 52-60, (2007).
-

DECISIONES PREFERENCIALES COMO MODELO DE LATERALIDAD EN LA RATA Y EFECTO DE LA ADMINISTRACIÓN CRÓNICA DE ZNTE EN DOSIS SUB-TÓXICAS

Ratti, S.G (1, 2, 3)
Alvarez, E.O. (1, 2)

(1) Laboratorio de Neuropsicofarmacología Experimental, Área de Farmacología, Facultad de Ciencias Médicas, Universidad Nacional de Cuyo e IMBECU-CONICET.
(2) Instituto de Ciencias Ambientales (ICA), Universidad Nacional de Cuyo.
(3) IUCS, Fundación H. Barceló, sede La Rioja.

Introducción

En estudios previos realizados en la provincia de La Rioja, se encontró que la expresión fenotípica atribuible al gen HSR (Hand Skill Relative, OMIM 139900) en niños en edad escolar de una zona geográfica ubicada al noroeste de esta provincia (región 2), está modificada con respecto a otra, considerada control (región 1, Ratti et al., 2007). Se ha descripto que el gen HSR es regulado epigenéticamente y se ha propuesto que esta regulación podría alterarse por factores medioambientales (Franks et al., 2004, Ratti & Alvarez, 2009). Muy recientemente, se ha visto que algunos elementos trazas participan en reacciones celulares en el sistema nervioso central (Toews et al., 1997, Widy-Tyszkiewicz et al., 2002). Considerando los resultados del estudio de La Rioja y la conspicua presencia de depósitos minerales y yacimientos en la región 2, el objetivo del presente estudio fue evaluar la posibilidad que en modelos animales de lateralidad, la exposición prolongada a algunos elementos trazas pudiera alterar su expresión comportamental.

Materiales y Métodos

Se trabajó con crías provenientes de parejas expuestas a ZnTe (0.3 µg/L) disuelto en el agua de beber. Ratas con agua corriente se consideraron control. Se dispuso de 2 grupos: (1) control (n=21) y (2) ZnTe (0.3 µg/L, n=12). Los animales fueron expuestos al tratamiento desde su nacimiento hasta el día 30, donde se testaron con 2 pruebas que examinan decisiones preferenciales como modelo de lateralidad: (1) Laberinto en T (LT), consistente en un pasillo que comunica con otro dispuesto en 90º donde hay refugios protegidos de la luz (Figura 1) y (2) Laberinto de Elección Múltiple (LEM), consistente en una serie de dobles compartimientos con 2 entradas ubicadas por delante y a la izquierda y derecha del animal, tal como se ha mostrado previamente (Abrego & Alvarez, 2007, Figura 2). Un resumen del esquema experimental se muestra en la Figura 3.

Análisis estadístico de los datos:

Para evaluar la diferencia estadísticamente significativa de las proporciones de elección "izquierda/derecha" de los animales en la prueba del LT, o de la elección de la exploración por las puertas del LEM, se usó la Distribución Binomial para eventos con igual probabilidad (Prueba No Paramétrica de los Signos). La evaluación de la diferencia entre los promedios para el grupo control y el experimental en los parámetros reproductivos y de ingesta de líquidos, se utilizó la Distribución de t. Una probabilidad menor que 0.05 se consideró estadísticamente significativa.

Resultados

1) Parámetros reproductivos:
El análisis del posible efecto del ZnTe en los parámetros reproductivos de los animales tratados se muestra en la Tabla 1. No se encontraron diferencias estadísticamente significativas en la duración de la preñez, número de crías vivas, sexo de las crías y conducta maternal.

2) Consumo de agua y de ZnTe:
El consumo diario de agua (control) y de la disolución de ZnTe (0.3 µg/L) durante el desarrollo de todo el experimento se muestra en la Tabla 2. Tres períodos mostraron diferencias entre el grupo tratado y control: el consumo fue significativamente menor en la preñez ($p < 0.01$, Tabla 2); en la lactancia ($p < 0.01$, Tabla 2) y en el destete ($p < 0.05$, Tabla 2).

3) Elecciones espontáneas preferenciales en el LT:
La proporción de animales que espontáneamente eligieron refugiarse en el compartimiento izquierdo o derecho del laberinto en T para los dos grupos de ratas, se muestra en la Figura 4. Los animales controles no mostraron preferencia por los refugios izquierdo o derecho en esta prueba. Sin embargo, los que recibieron el tratamiento con ZnTe, el comportamiento aleatorio de elección de lado se perdió, mostrando lateralidad de elección izquierda (Figura 4, $p < 0.05$).

4) Exploración espontánea lateralizada en el LEM:
La conducta exploratoria espontánea a través del LEM para los grupos tratados y no tratados con ZnTe se muestra en la Figura 3. Los animales controles mostraron una clara preferencia exploratoria por las puertas derecha ($p < 0.01$, Figura 5). En cambio, los animales que recibieron el tratamiento con ZnTe, esta preferencia desapareció.

Grupos:	CONTROL (n = 5)	ZnTe (0.3 µg/L) (n = 1)
Preñez (días)	22.6 ± 0.9	21
Nº de crías	12.2 ± 0.6	12
Sexo masculino	4.8 ± 0.7	5
Sexo femenino	7.4 ± 0.8	7
Conducta maternal	Normal	Normal

Tabla Nº 1: Parámetros reproductivos de animales controles y tratados con ZnTe (0.3 µg/L).

Períodos	Control (13 crías)	ZnTe (0.3 µg/L; 12 crías)
Preñez (ml/día) (0 - 22 días)	91.3 ± 7.2	49.3 ± 1.6 ($p < 0.01$)
Lactancia (ml/día) (0 – 10 días)	96.5 ± 11.6	70.5 ± 6.2 (n. s.)
Lactancia (ml/día) (11 – 21 días)	165 ± 13.7	124.7 ± 6 ($p < 0.01$)
Destete (ml/día) (22 – 30 días)	291 ± 19.2	202.8 ± 25.7 ($p < 0.05$)

Tabla Nº 2: Consumo de agua corriente y agua con ZnTe (0.3 µg/L) durante los períodos preñez-nacimiento-destete-30 días.

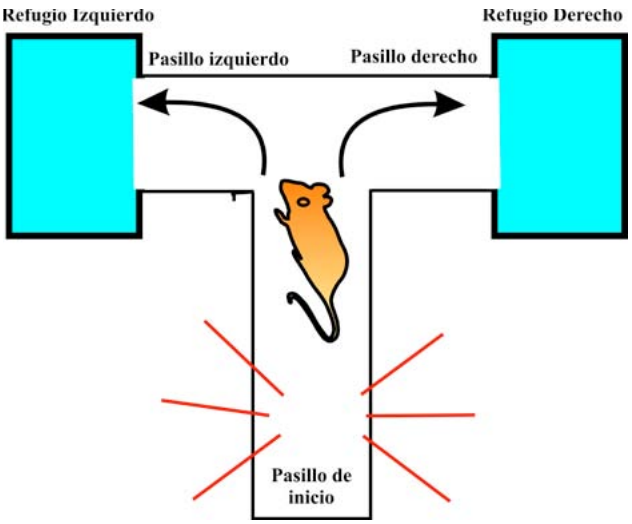


Figura Nº 1: Esquema del Laberinto en "T" (LT).

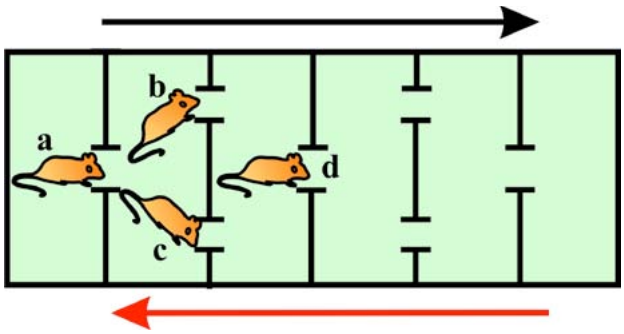


Figura Nº 2: Esquema del Laberinto de Elección Múltiple (LEM). (a) Pasillo de inicio; (b) elección de puerta izquierda; (c) Elección de puerta derecha; (d) entrada neutral al próximo compartimiento. La dirección izquierda o derecha se toma con respecto al eje del animal.

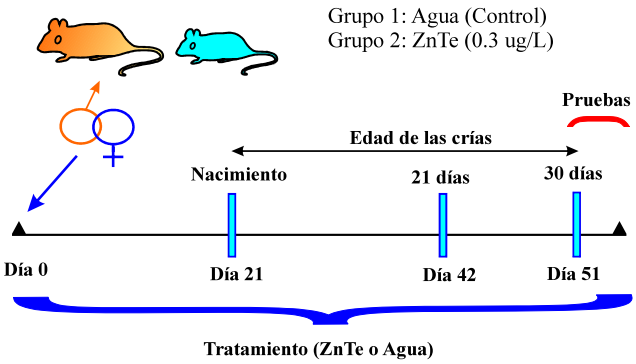


Figura Nº 3: Esquema experimental del tratamiento de ZnTe en ratas.

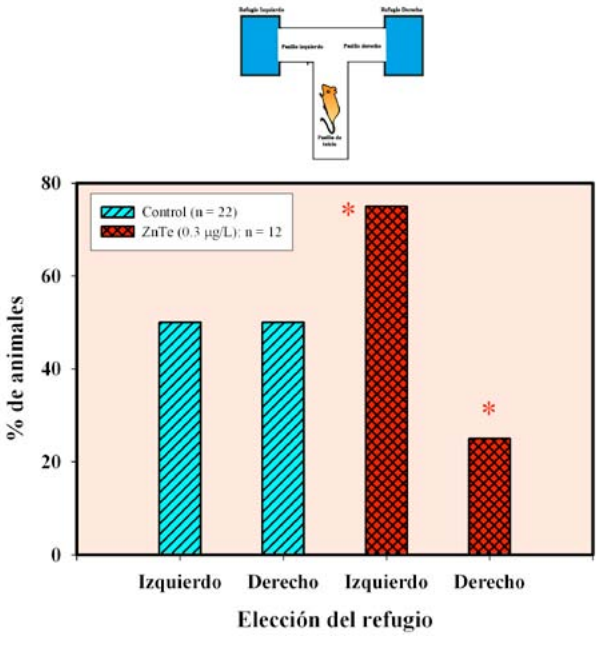


*Figura Nº 4: Resultados de las decisiones preferenciales en ratas tratadas con agua (control) y ZnTe (0.3µg/L) en el laberinto en "T" (LT). * $p < 0.05$ versus refugio contralateral.*

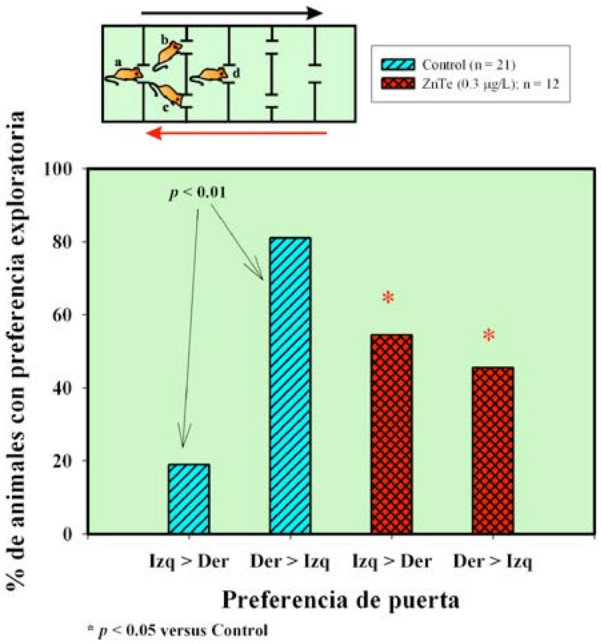


Figura Nº 5: Actividad exploratoria lateralizada en ratas tratadas con agua (control) o ZnTe (0.3 µg/L) en el LEM.

Discusión

La evidencia encontrada en humanos que aspectos de la lateralidad cerebral como el uso preferencial de la mano, la asimetría cerebral y la capacidad de lecto-escritura dependen en gran parte de una zona restringida del ADN localizada en el cromosoma 2 identificada como HSR (Hand Skill Relative, OMIM 139900) ha puesto en clara perspectiva que funciones cognitivas y conductas espontáneas de interacción están codificadas genéticamente. No se ha descripto en la rata algún gen o zona cromosómica que tenga específicamente las mismas características que el HSR. Sin embargo, esto no es un argumento para descartar que en esta especie no exista una región semejante que pueda estar involucrada en expresiones símiles al HSR. El componente básico y más importante del gen HSR en el humano radica en la lateralización de las funciones en el cerebro. Estudios previos de este laboratorio han mostrado que la exploración de ambientes desconocidos conflictivos, la actividad exploratoria del animal está regulada principalmente por la amígdala izquierda (Alvarez & Banzan, 2005). En dispositivos que miden específicamente conductas lateralizadas, la rata ha manifestado tener "preferencia izquierda" en la exploración espontánea inducida por la novedad (Alvarez & Abrego, 2007, Abrego & Alvarez, 2007, Álvarez & Abrego, 2007, Abrego & Alvarez, 2008). Por lo tanto, estos hallazgos respaldan el modelo de la rata para evaluar conductas lateralizadas. Como se puede ver en la Tabla 1, el tratamiento con ZnTe no afectó importantes parámetros reproductivos que podrían haber comprometido las respuestas conductuales de las crías más adelante. Estos datos descartan que el ZnTe a la dosis empleada en este estudio haya tenido efectos tóxicos. Las diferencias encontradas en la ingesta de líquidos entre los dos grupos (Tabla 2) sugieren que posiblemente la disolución de ZnTe pueda tener un sabor que inicialmente les resulte aversivo al animal. En ausencia de una prueba específica de preferencia, esta interpretación debería ser considerada con cautela.

Los datos del LT que miden decisiones preferenciales lateralizadas (Figura 4) muestran que el ZnTe es capaz de afectar mecanismos centrales e interferir con la modulación normal de las conductas preferenciales. Más aún, en el LEM (Figura 5), ZnTe abolió la preferencia exploratoria izquierda de los animales que confirma el efecto de interferencia de procesos moduladores de los elementos trazas. En esta etapa del estudio no es posible identificar que estructuras cerebrales podrían estar afectadas por el ZnTe ya que la administración de los elementos trazas fue por vía periférica. Considerando evidencias previas, es posible postular que los elementos trazas podrían estar actuando a nivel del hipocampo, núcleo accumbens o amígdala baso-lateral (Alvarez & Banzan, 2005, 2006, 2008, Alvarez & Abrego, 2007, Abrego & Alvarez, 2008). Los resultados obtenidos en este estudio apoyan los hallazgos previamente encontrados en humanos (Ratti et al., 2007) y sugieren una fuerte vinculación de los elementos trazas con la regulación de la lateralidad.

Agradecimientos

Este estudio ha sido financiado por la Secretaría de Ciencia, Técnica y Post-grado de la Universidad Nacional de Cuyo, Consejo de Investigaciones de la Universidad del Aconcagua y la Fundación H. B. Barceló, sede La Rioja.

Bibliografía

- Abrego VA, Alvarez EO. Evidence that rats show preferential choice of exploratory responses when exposed to novel environments: preliminary evidence. BioCell 31: 178 (2007).
- Abrego VA, Alvarez EO. Role of the ventral hippocampus on the exploratory preferential decisions in rats. BioCell 32: 153 (2008).
- Alvarez EO, Abrego VA. Conductas exploratorias espontáneas de decisión preferencial en la rata: papel del hipocampo. Medicina 67: 160 (2007).
- Alvarez EO, Banzan AM. Inactivación selectiva de los circuitos neuronales de la amígdala baso-lateral (ABL) de la rata durante la exploración de ambientes con diferentes grados de conflicto. Medicina 65: 68 (2005).
- Alvarez EO, Banzan AM. Papel de la histamina en la modulación lateralizada de la amígdala basolateral en la exploración de un ambiente conflictivo en la rata. Medicina 68: 147 (2008).
- Alvarez EO, Banzan AM. Receptores histaminérgicos del núcleo accumbens y la amígdala basolateral modulan

lateralizadamente la conducta exploratoria en ratas. Medicina 66: 194-195 (2006).
- Francks C, Maegawa S, McAuley EZ, Richardson AJ, Stein JF, Oshimura M, Monaco AP A novel imprinted locus on chromosome 2p12 associated with relative hand skill in humans.. XIIth World Congress of Psychiatric Genetics, 9th-13th October, Burlington Hotel, Dublin, Ireland. Abstract 025. (2004).
- Ratti SG, Alvarez EO Epigenetic processes as evolutionary advanced molecular mechanisms to cope the continuous interaction between DNA and the environment. International Journal of Neuroprotection and Neuroregeneration 1: 1-7 (2009).
- Ratti SG, Córdoba P, Rearte S, Alvarez EO. Differential expression of handedness, scalp hair-whorl direction, and cognitive abilities in primary school children. International Journal of Neuroprotection and Neuroregeneration 4: 52-60 (2007).
- Toews AD, Roe EB, Goodrum JF, Bouldin TW, Weaver J, Goines ND, Morell P. Tellurium causes dose-dependent coordinate down-regulation of myelin gene expression. Molecular Brain Research 49: 113-119 (1997).
- Widy-Tyszkiewicz E, Piechal A, Gajkowska B, Smialek M Tellurium-induced cognitive deficits in rats are related to neuropathological changes in the central nervous system. Toxicology Letters 131: 203-214 (2002).

ESTRATEGIAS DE MITIGACIÓN Y ESTUDIO DE VULNERABILIDADES AL CAMBIO CLIMÁTICO EN EL SECTOR ELÉCTRICO: LA PARTICIPACIÓN NUCLEOELÉCTRICA

Cristina Rössler (1)
Darío R. Gómez (1, 2)
Francisco C. Rey (2)
(1) Instituto de Investigación e Ingeniería Ambiental 3iA – Universidad Nacional de San Martín. cristina.rossler@unsam.edu.ar
(2) Comisión Nacional de Energía Atómica - CNEA

Introducción

El crecimiento económico e industrial del país está provocando un fuerte crecimiento de la demanda de energía eléctrica. El sector eléctrico de la Argentina es fuertemente dependiente del quemado de gas natural. Este es un insumo clave en el sector industrial, en la generación eléctrica y en el sector residencial que lo utiliza tanto para cocción como para calefacción. El abastecimiento de gas se encuentra en una situación límite y, en circunstancias excepcionales derivadas del frío intenso o baja disponibilidad de energía hidroeléctrica, debe priorizar su uso en el sector residencial, interrumpiendo el suministro a las centrales eléctricas, que deben recurrir a combustibles más contaminantes.

Las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) han aumentado fuertemente desde la época preindustrial debido especialmente a la quema de combustibles fósiles. La mitigación del cambio climático exige una rápida reducción de las emisiones de estos gases. Es necesario un cambio en la estructura de la matriz de energía eléctrica aumentando la participación de fuentes sustentables de generación como la nucleoelectricidad.

Es claro que el clima desempeñará un papel determinante para conformar la inversión en infraestructura del sector eléctrico. Las temperaturas son un poderoso factor controlador del consumo de energía ya que determinan la demanda diaria que, en caso de picos de frío o de calor, se dispara a causa de la calefacción o refrigeración. Por otro lado, la producción de energía hidroeléctrica es influenciada por la variabilidad de la precipitación. Los cambios de hidraulicidad a producirse como consecuencia del cambio climático podrán favorecer o perjudicar la generación de energía hidráulica dependiendo de cómo se afecte, no solo la generación total, sino su estacionalidad en relación con la demanda de electricidad.

En este trabajo se investiga la situación en la que se encuentra el sector eléctrico argentino evaluando la falta de abastecimiento y el cuidado del ambiente con respecto a las emisiones de gases de efecto invernadero. Por otro lado se evalúa la vulnerabilidad del sector al cambio climático con énfasis en la hidroelectricidad. Se analiza, además, la contribución que tendrá la opción nucleoeléctrica en la expansión del sector eléctrico argentino y sus ventajas con respecto a las otras fuentes de generación.

Materiales y metodología

La investigación se realizó buscando la confluencia de tres líneas de trabajo: la consideración de dos aspectos clave relacionados con el cambio climático: la evaluación de vulnerabilidad y el desarrollo de estrategias de mitigación; la información sobre el sector eléctrico argentino y el análisis sobre la posible expansión del sector nucleoeléctrico en Argentina.

Se analizó la base científica existente sobre el cambio climático, la justificación de por qué es necesario el control de las emisiones de GEI y el rol de la Argentina.

La caracterización del funcionamiento del sector eléctrico argentino permitió analizar las principales tecnologías de generación en las que se basa el sistema y comparar sus contribuciones relativas a los GEI.

Se estudiaron algunas situaciones climáticas particulares para evaluar la sensibilidad del sistema eléctrico al clima y determinar problemas en su funcionamiento.

Se analizaron los escenarios de cambio climático global generados por los principales modelos climáticos. Se construyeron escenarios de cambio climático regional para la región del Comahue con el modelo climático regional PRECIS[1] para analizar la vulnerabilidad del sector hidroeléctrico a futuros cambios en el clima.

---

1 PRECIS Providing Regional Climates for Impact Studies, Hadley Centre, UK.

Cambio climático

El calentamiento del sistema climático es inequívoco (IPCC, 2007), se debe al aumento de las concentraciones de GEI de origen antrópico debido especialmente a la quema de combustibles fósiles. Este aumento en la temperatura global implica también un importante cambio en el clima, no solo en temperatura sino también en otras variables climáticas como la precipitación, humedad, vientos.

El Protocolo de Kyoto fue un primer y fallido intento de controlar estas emisiones. Desde 1995 la concentración de dióxido de carbono aumentó 1,9 ppm/año, superando los valores promedio desde el comienzo de las mediciones directas, alcanzando un valor de 387 ppm en 2008.

Estudios científicos indican que existe un límite de 2ºC de sobreelevación de temperatura con respecto a los niveles preindustriales, a partir del cual los impactos ambientales se tornarán extremadamente adversos. Para mantener la temperatura por debajo de este umbral, las concentraciones de CO2 equivalentes[2]deberían alcanzar y mantenerse en 400 ppm. El más estricto de los escenarios implica que en 2010 las emisiones alcancen un máximo para descender después un 5% anual, con el fin de reducir la concentración por debajo de los 400 ppm a finales de siglo. Aún así, el riesgo de sobrepasar los 2ºC es del 9-26% (Figura 1).

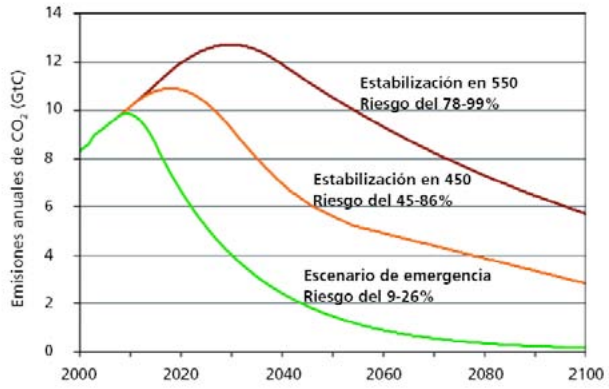


Figura 1: Riesgo asociado de exceder el umbral de 2°C para tres escenarios de estabilización de emisiones. (Mastrandrea et al., 2006).

Sector eléctrico argentino

Desde la reforma del sector eléctrico en la década de los 90, la generación de electricidad tiene lugar en un mercado mayormente liberalizado. De esta manera muchas decisiones asociadas a la generación quedaron en manos privadas. Esto llevó a una mayor presencia del gas natural obligando a mantener un especial cuidado en el aseguramiento del suministro energético, especialmente en el invierno, en el que la necesidad de gas para uso residencial produce falta de abastecimiento.

Actualmente el sector eléctrico se halla en fuerte expansión, con una tasa de crecimiento anual de 5%. La estructura de generación eléctrica está constituida por un 60% de generación térmica por combustibles fósiles (basado en un 85% de gas natural), 33 % de hidroeléctrica y 7% de nuclear.

Aunque la Argentina ratificó el Protocolo de Kyoto, no tiene compromisos cuantitativos de limitación de GEI y se propone una mejora sostenible en las emisiones de carbono de las actividades socio-económicas sin afectar la capacidad de desarrollo del país. La Argentina realizó una oportuna transición mediante la reforma del sector energético y la utilización de gas natural, pero el potencial de producir sustituciones de bajo costo para las emisiones continúa siendo limitada. Es necesario examinar oportunidades específicas de reducción de emisiones en Argentina.

Sensibilidad al clima

Al analizar la sensibilidad del sector eléctrico al clima actual se debe establecer cuales son las variables climáticas que tienen mayor influencia para luego analizar posibles cambios en su evolución capaces de afectar en el futuro al sector.

Demanda de electricidad

Es notorio el cambio en el incremento de la demanda con la disminución en las temperaturas mínimas en invierno. Es el caso del invierno de 2007. Este invierno fue un de los más fríos en los últimos 100 años en el que se verificaron frecuentes e intensas irrupciones de aire frío polar que llegaron a afectar regiones tropicales.

Como consecuencia de un conjunto de factores que involucraron la falta de gas, muy bajas precipitaciones y la salida del servicio de varias turbinas (CAMMESA, 2007), hubo que recurrir a restricciones en el servicio a grandes usuarios en el horario de mayor consumo y a la importación de 1000 MW extra en forma continua. Las curvas de crecimiento de la demanda de electricidad y temperatura con respecto al año anterior muestran un mayor requerimiento en los meses de menores temperaturas respecto del año 2006 (Figura 2).

2 CO2-e llamado dióxido de carbono equivalente es la concentración de CO2 que produciría el mismo nivel de forzamiento radiativo que una mezcla dada de CO2 y otros gases de efecto invernadero

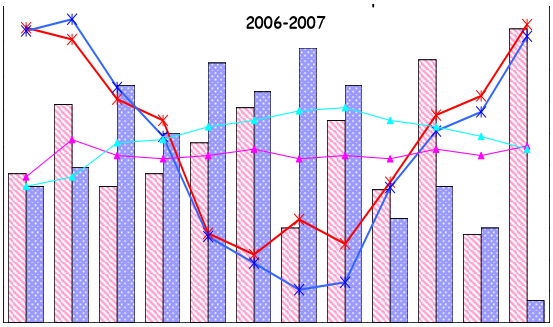


Figura 2: Comparación crecimiento de la demanda de energía eléctrica y temperatura mínima de 2006 y 2007 [3].

Por otro lado el año 2007 se caracterizó por menores valores de precipitación respecto de los valores climatológicos, como se puede ver en la figura 3.

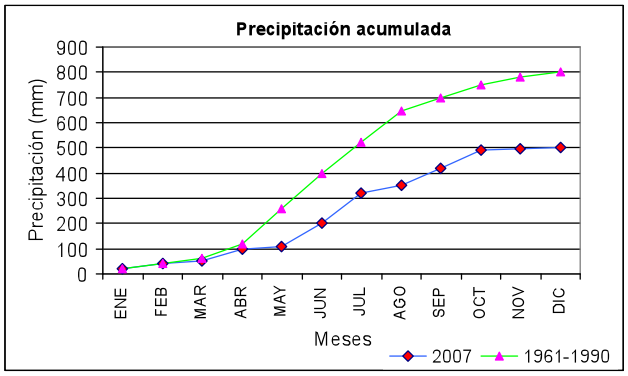


Figura 3: Precipitación acumulada anual 2007 y climatológica.

Los cambios inesperados en la temperatura pueden provocar alteraciones en la demanda eléctrica. En el mes de noviembre de 2008 con temperaturas máximas diarias mucho más altas de las climáticas se produjeron máximos históricos de energía y problemas en el suministro (Figura 4). Según los registro de CAMMESA se registraron máximos históricos de energía de 394 GWh para el 27 de noviembre (CAMMESSA, 2008).

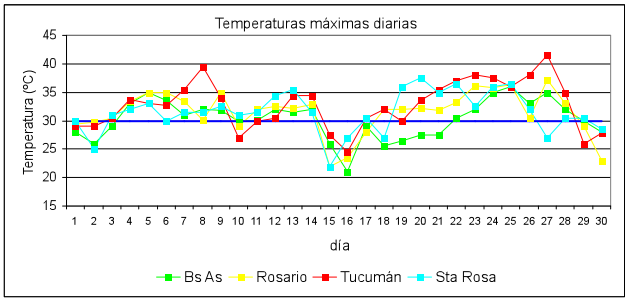


Figura 4: Evolución de la temperatura máxima diaria del mes de noviembre de 2008 en algunas ciudades argentinas.

Generación de electricidad

En el caso de la generación hidroeléctrica, los períodos de baja hidraulicidad obligan a proveer energía con centrales de otro tipo para la producción de energía eléctrica en los momentos en que las mismas no están disponibles. En estos casos se prevé la utilización de generación térmica fósil la que no depende de las condiciones climáticas sino de la disponibilidad del combustible. La generación térmica aporta seguridad al sistema y la generación hidráulica balancea un despacho más económico.

Por otro lado, en el invierno, debido a las restricciones del suministro de gas, las centrales térmicas deben recurrir a la utilización de sustitutos más caros y más contaminantes como los combustibles líquidos. En un trabajo de Coppari et al., 2008 se muestra claramente (Figura 5) la relación entre la generación de energía térmica y la producción de energía hidráulica, en la que también se puede ver el consumo de combustible. Se pueden identificar claramente los períodos de baja hidraulicidad en 1988-1989, 1998-1999 y 2003-2004 (puntos (1), (2) y (3)) y los de mayor hidraulicidad en los períodos 1994-1995, 1990 y 2001-2002.

Si analizamos las curvas de generación hidráulica y térmica podemos evidenciar en (1) la histórica sequía[4] del 1988-1989, que comenzó en agosto y se extendió por 14 meses pasando por todas las etapas desde sequía incipiente hasta extrema. Esto afectó seriamente la zona del Comahue determinando serios problemas en el suministro de electricidad acompañado de lapsos de bajos aportes en el río Uruguay.

En el punto (2) podemos observar la situación de 1999 en la que las capacidades de generación plena de las plantas hidráulicas se vieron reducidas sustancialmente y en algunos casos se llegó a una reducción extrema en los niveles de los embalses.

En el punto (3) se puede observar la situación del año 2003 y principios de 2004 cuando se produjo una sequía importante en el litoral argentino. La represa Yacyretá en septiembre y octubre, que superó la dificultad de la disminución del caudal del río Paraná con valores entre los percentiles 25 y 50 por debajo de la serie 1971-2002, a través de la regulación de

3 *Real se refieren al crecimiento de la demanda de electricidad respecto del mismo mes del año anterior, Tmin2006 y Tmin 2007 son temperatura mínima y Acum es el crecimiento de la demanda de electricidad respecto al acumulado anual. Los datos fueron suministrados por CAMMESA y SMN.*

4 *Según el Servicio Meteorológico Nacional (1988) la sequía "en términos generales puede ser considerada como la insuficiente disponibilidad de agua en una región, por un período prolongado para satisfacer las necesidades de los elementos bióticos locales. Estas necesidades dependen de la distribución de las poblaciones de plantas, animales y seres humanos, de su modo de vida y del uso de la tierra".*

caudales que efectúa el sistema eléctrico brasileño con sus casi 50 presas situadas aguas arriba de Yacyretá, según lo informado por la Empresa Binacional. Los meses del período considerado fueron acompañados por temperaturas medias mayores a las normales (Alessandro, 2007).

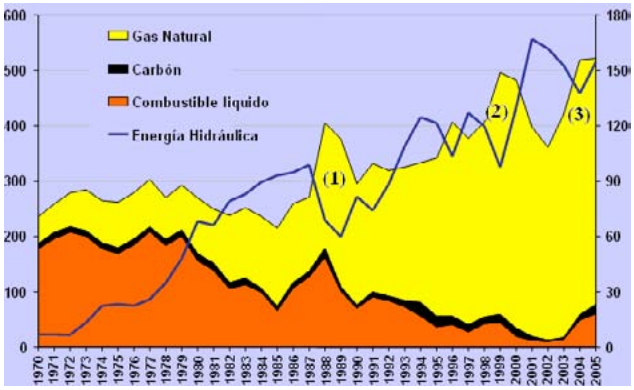


Figura 5: Consumo de combustible por plantas de energía térmica y producción de energía hidráulica período 1970-2005. (1), (2) y (3) muy baja hidraulicidad. (Coppari et al., 2008).

En la figura 6 se presentan los factores de carga[5] de las diferentes tecnologías donde se puede también observar los ciclos hidrológicos y cómo son compensados con el despacho térmico fósil. Se pueden identificar nuevamente los períodos de sequía señalados como (2) y (3) en la figura 5.

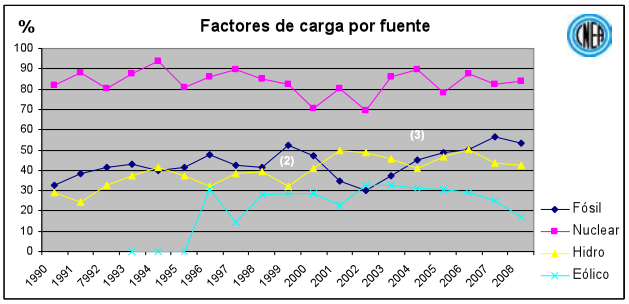


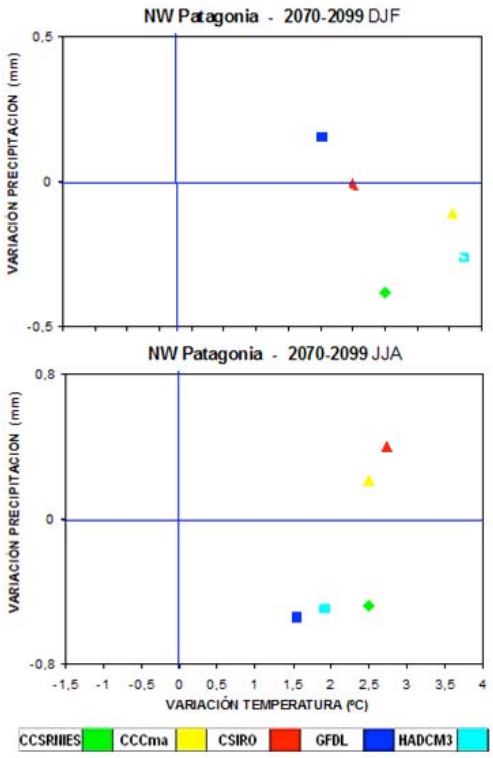
Figura 6: Factores de carga por fuente de generación eléctrica. (Rey, 2009).

Vulnerabilidad al cambio climático en la hidroelectricidad

Con el fin de obtener una estimación de los valores de las variables meteorológicas futuras a escala regional, fueron considerados los resultados de una serie de modelos climáticos globales (CCSR/NIES, CCCma, CSIRO, GFDL, HadCM3 y ECHAM4)[6] para dos escenarios de emisiones del IPCC, uno moderado (SRES B2) y otro severo (SRES A2). Se realizó un "downscaling" para la región del Comahue interpolando los resultados de las simulaciones de los Modelos Climáticos Globales (MCGs) en el área de estudio para los horizontes temporales 2010-2039, 2040-2069 y 2070-2099, comparados con el período de referencia 1961-1990.

Los diagramas de dispersión de temperatura versus precipitación para las estaciones del año, indican que bajo diferentes escenarios de emisiones (A2 y B2) y para diferentes modelos, la temperatura aumentará, aunque es poco clara la tendencia de la precipitación. En las figuras 7a y 7b se muestran los diagramas de dispersión correspondientes al verano e invierno respectivamente, en el escenario de emisiones más severo (SRES A2).

Se puede observar el consenso entre varios modelos climáticos globales con respecto a la disminución de la precipitación y el aumento de la temperatura en el verano e invierno del hemisferio sur. En la región, las tendencias presentes y futuras, se observan en Chile a la misma latitud y son consecuencia desplazamiento hacia el sur del anticiclón del Pacífico, que bloquea el paso de los sistemas precipitantes y tiende a reducir las lluvias y nevadas.



5 *Los factores de carga se calculan como la generación real anual dividida por la generación teórica (potencia de la máquina por las 8760 horas del año). Las únicas disponibilidades reales son las del parque eólico, nuclear e hidráulico porque el factor de carga de la generación térmica está influenciado también por el despacho que la usa como variable de ajuste.*

6 *CCSR/NIES:Center for Climate System Research/National Institute of Environmental Studies, (Japón); CCCma: Canadian Centre for Climate Prediction and Research (Reino Unido); CSIRO: Australia's Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization (Australia); GFDL: Geophysical Fluid Dynamics Laboratory (Estados Unidos); HadCM3: Hadley Centre for Climate Prediction and Research (Reino Unido); ECHAM4: Max Planck Institute für Meteorologie (Alemania)*

Figura 7: Diagrama de dispersión de la variación estacional, de la precipitación acumulada (mm/día) y variación de temperatura media (ºC) para 2070-2099 con respecto al período base (1961-1990) correspondiente al verano (arriba) y al invierno (abajo) para la zona noroeste de la Patagonia. Los colores de la regla indican los modelos climáticos globales SRES-A2.

Escenarios climáticos en la región del Comahue

El análisis de las proyecciones climáticas realizadas con el modelo PRECIS indica que en la zona de la cuenca del Comahue las temperaturas aumentarán (Figura 8a) con la consecuente reducción en el área andina capaz de almacenar nieve entre las estaciones del año. Considerando que la isoterma de 0ºC sufre un alza de altura por el proceso de calentamiento, la reserva nival de agua se verá disminuida. En la figura 8b se puede observar que en la zona de estudio las precipitaciones disminuirán para fines del siglo XXI. Esto afectaría seriamente el aporte de los ríos de la región y por lo tanto la generación hidráulica en el Comahue.

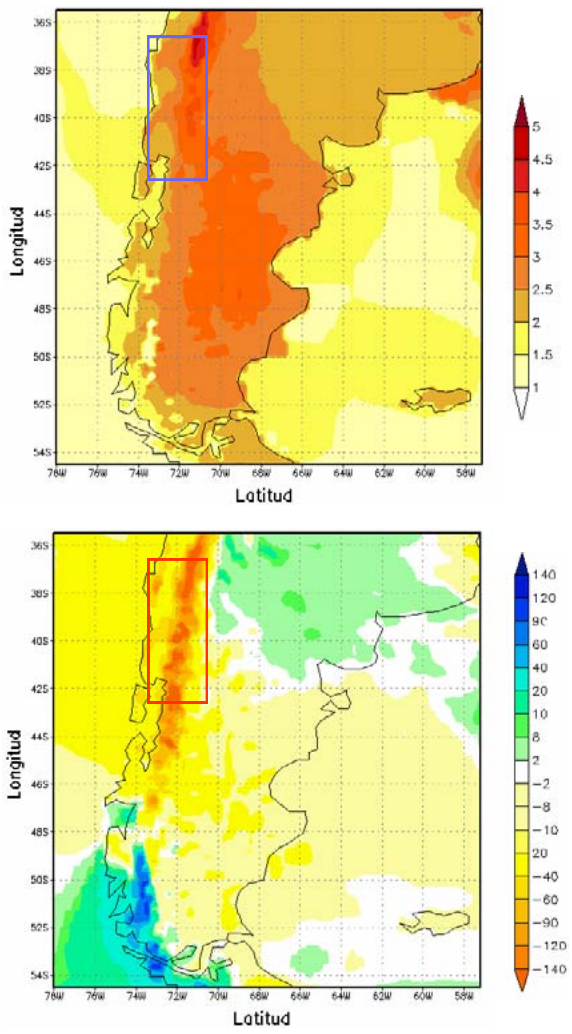
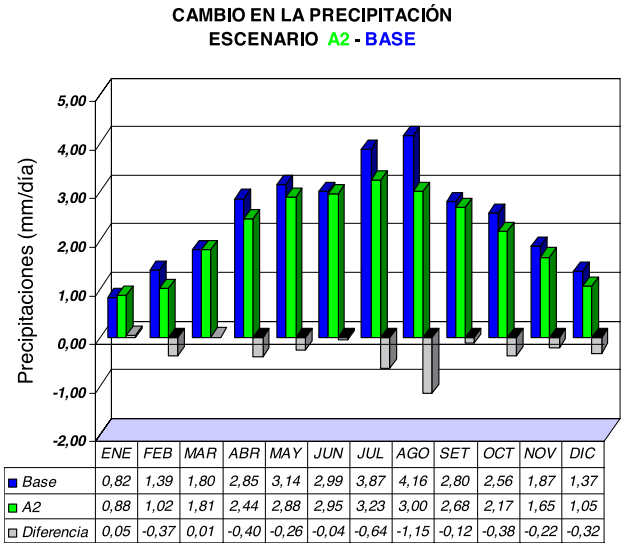


Figura 8: a. Variación de la temperatura media en ºC y b. Variación de precipitación acumulada anual (2070-2080) relativo al periodo (1960-1970), simulados por el PRECIS.

En la figura 9 se muestran los resultados del downscaling dinámico PRECIS para un horizonte más cercano. Se puede observar que para el período 2010-2040 se esperan disminuciones de las precipitaciones para el invierno del orden del 30%. Esto podría representar una disminución importante en la generación hidroeléctrica que afectaría la el sistema eléctrico.



	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
Base	0,82	1,39	1,80	2,85	3,14	2,99	3,87	4,16	2,80	2,56	1,87	1,37
A2	0,88	1,02	1,81	2,44	2,88	2,95	3,23	3,00	2,68	2,17	1,65	1,05
Diferencia	0,05	-0,37	0,01	-0,40	-0,26	-0,04	-0,64	-1,15	-0,12	-0,38	-0,22	-0,32

Figura 9: Variación en las precipitación media mensual entre un escenario base (1961-1990) en celeste y el escenario A2 (2010-2040) en verde (A2-Base).

Tecnologías de generación y gases de efecto invernadero

Los efectos ambientales de la generación de electricidad difieren en función de la fuente primaria utilizada, las tecnologías aplicadas y la situación y entorno de las instalaciones. Estos efectos surgen del uso y agotamiento de recursos naturales, de las emisiones provocadas por la combustión, de los vertidos originados, de los residuos convencionales y radiactivos producidos y del riesgo de la producción de accidentes graves con impacto en el entorno.

Un análisis completo de los efectos ambientales asociados a cada tecnología exige considerar todas las actividades de extracción y transporte de combustible, generación y transporte de electricidad y disposición final de los residuos generados. Por otro lado, se debe considerar todo su ciclo de vida, la construcción de la infraestructura, equipos e instalaciones necesarias, su operación, mantenimiento y desmantelamiento. Las diferencias básicas entre los efectos ambientales de cada planta de generación de electricidad abarcan la fuente de energía primaria, tecnología empleada y el emplazamiento elegido.

En este trabajo se analiza la contribución de los gases de efecto invernadero producidos por la generación de energía

eléctrica. Sin embargo, en la evaluación de tecnologías alternativas para la mitigación del cambio climático se deberían tener en cuenta además de las emisiones de gases de efecto invernadero, todos los efectos negativos para el medio ambiente (suelos, agua, recursos, sociedad, entre otros).

Son numerosos los estudios realizados con respecto a las emisiones de GEI en la generación de electricidad teniendo en cuenta el total de la cadena energética (entre otros IAEA, 2000; Alsema et al., 2006; NEA, 2007). En la figura 10 se muestra una comparación entre las contribuciones relativas de cada tecnología al efecto invernadero. La utilización del carbón supone las mayores emisiones de GEI y emisiones importantes de gases contaminantes y partículas. Las tecnologías a gas natural son relativamente limpias en relación con la emisión de contaminantes clásicos pero producen emisiones de GEI significativas.

La consideración del total de la cadena energética en la generación fotovoltaica supone tasas de emisión mucho mayores que la nuclear y la hidroeléctrica. La generación eólica es ambientalmente positiva y no representa tasas de emisión significativas, sin embargo, tiene carácter intermitente, con fuerte dependencia de la climatología. Además esta tecnología es de baja densidad de potencia y no contribuye a la estabilidad del sistema eléctrico. La energía hidroeléctrica, no supone emisiones de GEI pero tiene como desventaja la ocurrencia de ciclos sostenidos e imprevistos de baja hidraulicidad que pueden poner en riesgo el abastecimiento eléctrico. La energía nuclear no contribuye a los GEI y aporta una importante contribución a la generación de electricidad que puede permitir una reducción en la utilización de energías fósiles, ayudando a mitigar el cambio climático.

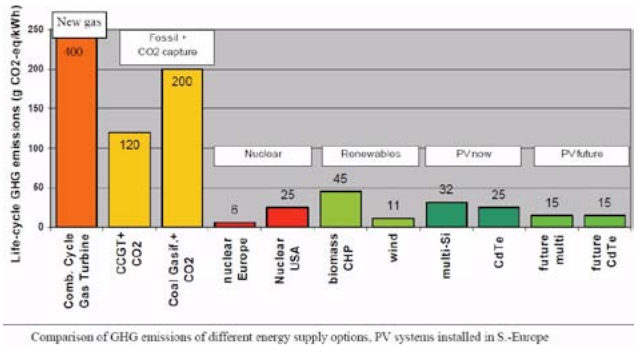


Figura 10: Comparación de las emisiones de diferentes fuentes de energía eléctrica. (Alsema et al., 2006).

El análisis de los resultados de la optimización del modelo de planificación energética MESSAGE (Coppari et al., 2008), indican que el escenario de eficiencia energética y con mayor inserción de energía nuclear e hidráulica resulta el de menores emisiones pudiéndose lograr reducciones del 33% para el período Post Kyoto (2013-2025).

Conclusiones

Se presenta un reto importante para el sector eléctrico. El sistema hidroeléctrico argentino es vulnerable y esa vulnerabilidad puede aumentar con el tiempo. El problema de las sequías en las usinas hidroeléctricas puede ocasionar problemas en la generación eléctrica y los escenarios climáticos indican disminución de las precipitaciones en la región del Comahue, una de las zonas de mayor aporte hidroeléctrico del país.

La ventaja de la generación nuclear es que su proceso no emite gases de efecto invernadero, aportando seguridad al suministro eléctrico. El incremento de la participación de nucleoelectricidad podría ser una de las formas más eficaces de contribuir a la mitigación del cambio climático.
En el caso de países como Argentina, que no son ricos en carbón, el mismo camino que conduce a la solución energética puede también conducir a la mitigación del cambio climático.

La Argentina estaría en condiciones de asumir un compromiso sectorial de limitación de emisiones de GEI en futuros acuerdos Post-Kyoto. Esto presentará ventajas, tanto para la Argentina como para los países desarrollados que contribuyan a implementar estas opciones de mitigación. Una posibilidad es la de incluir al sector eléctrico en las Acciones Apropiadas de Mitigación (NAMA)[7] . Estos son nuevos mecanismos de mercado de carbono, basados en reducciones mensurables, verificables y reportables, generadas a través de acciones nacionales no implicando penalidades en caso de no cumplirse.

En Argentina, entonces, sería conveniente el aumento del porcentaje de generación de origen nuclear con el objeto de darle mayor confiabilidad y estabilidad al suministro eléctrico.

Bibliografía

- Alessandro, Alessandro, A., 2008. Anomalías de circulación atmosférica en 500 y 1000 hPa asociada a la sequía producida en Argentina durante enero de 2003 a marzo de 2004. Revista Brasileira de Meteorologia, v.23, n.1, 12-29.
- Alsema, E., Wild Scholten, M. , Fthenakis, V., 2006.

7 Nacionally Appropiate Mitigation Actions. En función de las necesidades y prioridades de los sectores específicos nacionales, así como la contribución a la mitigación de GEIs, provee la plataforma apropiada para aumentar el financiamiento y la inversión del sector privado en países en desarrollo, promoviendo soluciones en un contexto de desarrollo sustentable.

Environmental impacts of PV electricity generation. A critical comparison of energy supply options ECN. 21st European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, Dresden.
- CAMMESA, 2007. Informe Anual. En: www.cammesa.com.ar.
- CAMMESA, 2008. Informe Anual. En: www.cammesa.com.ar.
- Coppari, N., 2008. Dawidowski, L., Giubergia, J., Gómez, D., Maur, D., Rey, F., Barbarán, G., Cañadas, V., Coppari, D., D'Angiola, A., Jensen Mariani, S., Leuzzi, F., Martínez, P., Torino Aráoz, I., 2008. Assessment of greenhouse gas mitigation strategies for the energy system of Argentina End of Year 2 Report IAEA.
- IAEA, 2000. Bulletin v.42, n.2. En: www.iaea/archive.
- IPCC, 2007. Climate Change 2007: Synthesis Report. Summary for Policymakers. Contribution of Working Group I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. [Pachauri, R., et al. (eds.)] Cambridge University Press.
- Mastrandrea, M., Baer, P., 2006. High Stakes: Designing emissions pathways to reduce the risk of dangerous climate change. Institute for Public Policy Research.
- NEA, 2007. Risk and benefits of nuclear energy, OECD Paris.
- Rössler, C., 2009: La Crisis Energética en un Mundo con Cambio Climático: La opción nucleoléctrica en Argentina. Tesis de Maestría en Gestión Ambiental. Universidad Nacional de San Martín. Buenos Aires.
- SMN, 2007. Síntesis boletín climatológico. Archivo Información histórica. Informes mensuales y Anual.
- SMN, 2008. Síntesis boletín climatológico. Archivo Información histórica. Informe mensual noviembre.

TORMENTAS DE POLVO PATAGÓNICO EN ENERO-ABRIL DE 2009: TRAYECTORIAS SOBRE EL OCÉANO ATLÁNTICO SUR Y SU POSIBLE INFLUENCIA SOBRE LA ANTÁRTIDA

Cristina Rössler (1)
Diana Mielnicki (1)
Claudio A. Parica (1, 2)

(1) Instituto de Investigación e Ingeniería Ambiental 3iA – Universidad Nacional de San Martín. cristina.rossler@unsam.edu.ar
(2) Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas - CONICET

Introducción

Las regiones áridas y semiáridas del planeta son fuentes de polvo que es transportado por la atmósfera a grandes distancias. En los últimos años la identificación de las áreas fuente de polvo ha sido un área importante de investigación. La mayor actividad se desarrolla en el hemisferio norte, principalmente en un amplio "cinturón de polvo" que se extiende desde la costa oeste del norte de África, el Medio Oriente, centro y sur de Asia, hasta la China. Es menor la actividad de polvo a gran escala fuera de esta región (Próspero et al., 2002).

El polvo produce una serie de impactos sobre el sistema climático causando forzamientos radiativos y alteración de los ciclos biogeoquímicos (Goudie, 2009). La Patagonia es la única masa de tierra al sur de 40° S y el polvo originado en ella se dispersa mediante los vientos del oeste sobre el Atlántico Sur. El polvo patagónico podría ser una de las fuentes de hierro (Fe) –elemento minoritario en la composición del polvo- en este océano. Este metal es un nutriente escaso que regula la actividad del fitoplancton oceánico y por lo tanto la captación del dióxido de carbono (Jickells et al., 2005). El fenómeno genera interés en la comunidad científica por su posible influencia sobre la concentración de este gas de efecto invernadero (Johnson et al, 2008). Erickson et al. (2003) resaltan el papel de las anomalías del ingreso de Fe, más que su cantidad absoluta, en su influencia sobre el fitoplancton. En el hemisferio sur, los aportes de Fe a los océanos son mucho menores que en el hemisferio norte (Gao et al, 2001), sin embargo se han realizado numerosos trabajos que estudian la importancia de las deposiciones de este polvo en áreas del océano Atlántico (Gassó et al, 2007; Li et al, 2008).
El polvo se moviliza constantemente y su magnitud se incrementa respecto al transporte atmosférico durante fines de primavera al verano del hemisferio sur. A estas situaciones comunes se suman, en algunas ocasiones, tormentas de polvo. Este es un fenómeno meteorológico común en distintas regiones del mundo. Las más severas pueden reducir la visibilidad a cero, y trasladar el polvo miles de kilómetros. La sequía y el viento contribuyen a la aparición de tormentas de polvo (Frumento, 2009; Mattio, 2009). Son varios los trabajos que se han realizado en los últimos años sobre el polvo patagónico (Li et al, 2008, Próspero et al, 2002) algunos de ellos han estudiado su influencia en la Antártida (Gassó et al, 2007; Li et al, 2008, Fiebig et al, 2009).

Durante los meses de enero-abril de 2009 fueron detectadas varias tormentas de polvo en la región patagónica mediante imágenes MODIS/Terra y MODIS/Aqua. Esta herramienta permite, en la actualidad, una mejor identificación de las regiones fuentes de polvo y su transporte en la atmósfera. El objetivo de este trabajo es establecer cuales son los factores meteorológicos que pueden haber llevado a la ocurrencia de las tormentas de polvo en 2009 y analizar las situaciones meteorológicas particulares en las que se produjeron.
Se estudian también los mecanismos que determinan su dispersión sobre el Océano Atlántico y el posible transporte atmosférico hacia el continente antártico.

Metodología

Se realizó la detección de las tormentas de polvo en el período de estudio enero a abril de 2009 en el sur de la Argentina utilizando imágenes del sensor MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectoradiometer) de los satélites Terra y Aqua (Subsets AERONET Trelew, FAS_SArgentina y Patagonia)[1] de órbita polar. Se utilizaron también los datos de espesor óptico de aerosoles del espectrofotómetro de la red AERONET[2] (Aerosol RObotic NETwork) ubicado en la ciudad de Trelew (43.25ºS 65.31ºW), único en la región.

Se estudiaron las situaciones meteorológicas asociadas a las tormentas de polvo con los datos de reanálisis del NCEP (National Center for Environmental Prediction, EEUU) y las

1 *Disponibles en rapidfire.sci.gsfc.nasa.gov*

2 *Disponibles en aeronet.gsfc.nasa.gov*

observaciones de las estaciones meteorológicas de superficie y se determinaron las condiciones favorables para la formación de tormentas de polvo.

Para determinar el transporte y dispersión de polvo originado en la Patagonia fue utilizado el modelo de dispersión Hybrid Single Particle Lagrangian Integrated Trajectory (HYSPLIT, Draxler y Hess, 1998) on-line con la base de datos GDAS1. Este modelo fue desarrollado por el Air Resources Laboratory de NOAA, Maryland, EEUU, y su eficacia fue comprobada en alertas de situaciones de emergencia atmosféricas. El modelo HYSPLIT calcula el transporte de una parcela de aire que contiene partículas suponiendo que es arrastrada pasivamente por el viento de tal modo que su trayectoria resulta solamente de la integración del vector de posición en el tiempo y el espacio. La cantidad de horas de emisión, utilizadas en el cálculo de la dispersión, se estimaron en base a la continuidad de las emisiones en las imágenes MODIS.

Para corroborar la distribución de los aerosoles estimada por medio el HYSPLIT, se utilizaron datos de aerosoles MODIS/ Aqua y Terra[3] (Remer et al., 2005). Para estimar la altura alcanzada por la capa de polvo se utilizaron las imágenes de dispersión atenuada (a 532 nm) del instrumento CALIOP[4] (Cloud-Aerosol Lidar with Orthogonal Polarization) (Winkler et al., 2007) a bordo del Calipso.

Origen del polvo patagónico

Al efectuar análisis del polvo patagónico, este en su gran mayoría comprende material volcánico, con rasgos químicos vinculados esencialmente al vulcanismo andino. Algunos autores se han referido a este tema, tanto en los aspectos químicos como así también en los estrictamente sedimentológicos (Scasso et al., 1994, Gaiero et. al, 2007) entre otros.

En general los trabajos referidos, presentan observaciones que atribuyen a material de las últimas erupciones conocidas, Hudson en 1991 y más recientemente al Chaltén. Pero de hecho el polvo patagónico existe previo a las erupciones más recientes, y las características tanto químicas como físicas no difieren demasiado de las descriptas en los papers citados en el párrafo anterior.

Ostera et al. (1993) exponen el tema patagónico, y reconocen que en su gran mayoría el material químicamente está vinculado al vulcanismo calcoalcalino andino de tipo explosivo con gran generación de cenizas, ricas en trizas (vidrio) y algunos minerales esqueléticos. Asimismo, dadas las características climáticas propias de la Patagonia extra andina, con extrema sequedad y vientos muy intensos casi permanentes provenientes del oeste, provocan por una parte, acumulaciones de sedimentos en zonas deprimidas, que frente al incremento del viento, éstos son removilizados hacia el este. La sequedad del clima a su vez, es en parte responsable del mínimo desarrollo de suelos, la escasa vegetación no alcanza para fijar los sedimentos.

Ostera, et al. (1993) ya proponen que la erupción del Volcán Hudson y la pluma no resultan en modificaciones significativas en relación al material en suspensión en la Patagonia ni a los depósitos de sedimentos producto de erupciones previas. Los análisis sedimentológicos ya presentados son coincidentes con lo presentado por Scasso et al (1994), propia de sedimentos que pueden ser transportados por el viento, y en muchos casos, permanecen en suspensión, por la electricidad estática típica de un ambiente de extrema sequedad, como el de éste trabajo.

Tanto las rocas sedimentarias marinas y continentales como los basaltos de plateau de la meseta de Somún Cura, aparecen entre los depósitos de sedimentos pero en una proporción menor respecto de las cenizas de origen volcánico, sean estas de depositación primaria o reelaboradas. Las diferentes concentraciones de sedimentos también se deben a que los basaltos son rocas de alta resistencia a la erosión y por lo tanto su aparición en los depósitos, frente al material piroclástico originado en los volcanes andinos, resultará en proporciones menores.

Detección y análisis de las tormentas de polvo

La Patagonia es una región en la que dominan los vientos del oeste, llamados también westerlies y en todos estos casos observados el polvo se dirige desde el continente hacia el océano Atlántico.

Durante el año 2008, casi toda la Patagonia experimentó disminuciones de precipitaciones de hasta un 40 %, alcanzando una disminución del 60 % en la zona de Viedma. En este año, las temperaturas máximas medias anuales superaron entre 0,5 y 2ºC los valores climatológicos (SMN, 2009). Esta situación de precipitaciones inferiores a lo normal y temperaturas mínimas y máximas superiores a lo normal se prolongó durante los meses de verano, particularmente en el norte de la Patagonia, Provincia de La Pampa y sur de Buenos Aires.

La ocurrencia de las tormentas de polvo se determinó mediante la observación de las imágenes satelitales MODIS/ Terra y Aqua. En la Figura 1 se presentan las tres zonas analizadas y en la Tabla 1, las fechas de ocurrencia de las tormentas de polvo y su magnitud. Las imágenes del MODIS/

3 Disponibles en modis-atmos.gsfc.nasa.gov

4 Disponibles en www-calipso.larc.nasa.gov

Terra corresponden a las 14.30 UTC y las del MODIS/Aqua a las 18.45 UTC aproximadamente.

Figura 1: Región de estudio. De norte a sur: zona Viedma, Trelew y Golfo San Jorge

	zona Viedma (39-41° S)	zona Trelew (41-44°S)	zona Golfo San Jorge (44-48°S)
4 enero	leve		
22-23-24 enero	moderada		
30 enero	moderada		
17-18 febrero	moderada		
20 febrero	leve		
25 febrero	leve		
28 marzo	fuerte	fuerte	moderada
2 abril	moderada	leve	
5 abril		fuerte	leve

Tabla 1. Tormentas de polvo en Patagonia según imágenes MODIS.

El espectrofotómetro de la red AERONET de Trelew, detectó altos espesores ópticos de aerosoles en los meses de enero a abril en tres oportunidades: 2 de febrero, 28 de marzo y el 21 de abril. Las diferencias en la detección entre MODIS y AERONET se deben a la presencia de nubosidad durante el horario de paso de los satélites, mientras que AERONET realiza varias mediciones por día. Por otra parte las imágenes tienen una cobertura areal mientras que AERONET realiza mediciones de columna en forma puntual.

De las tormentas de polvo producidas se eligió analizar tres situaciones: la del 22 al 24 de enero, como representativa de las tormentas de polvo en la zona de Viedma; la del 28 de marzo por su gran extensión latitudinal y la del 5 abril, que ocurrió en el sur de la región en estudio.

Tormenta de polvo del 22-24 enero de 2009

La segunda quincena de enero se caracterizó por las altas temperaturas que se registraron sobre gran parte de la provincia de Buenos Aires, la Pampa y norte de la Patagonia especialmente el 21 y 22 del mes (Figura 2).

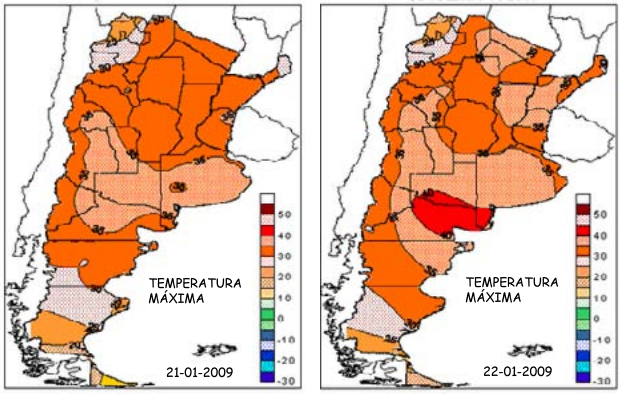
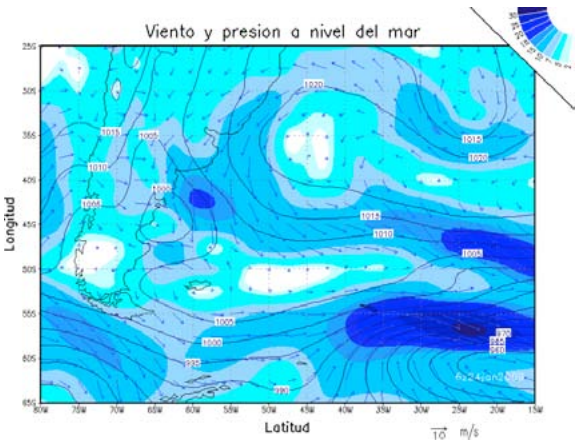


Figura 2: Temperaturas máximas registradas el 21 y 22 de enero de 2009 (SMN, 2009).

El 23 continuó la ola de calor en el norte de la Patagonia y sudoeste de Buenos Aires con centro en el mismo lugar geográfico. El aire cálido se mantiene sobre esta provincia, mientras que se produce ingreso de aire frío desde el sur del país.

La presencia de un sistema de baja presión ubicado en el sur de la Patagonia provocó en la región vientos fuertes de entre 50 y 80 km/h del sector oeste hasta el 24 de enero (Figura 3). Un frente frío situado sobre La Pampa y sudoeste bonaerense avanza rápidamente hacia la zona del Río de la Plata provocando vientos fuertes que afectaron la zona sudoeste de la provincia de Buenos Aires con ráfagas superiores a los 100 km/h. Se observa en la misma figura el centro ciclónico ubicado al sudeste de la provincia de Buenos Aires que impulsa el polvo hacia el este en Atlántico Sur.



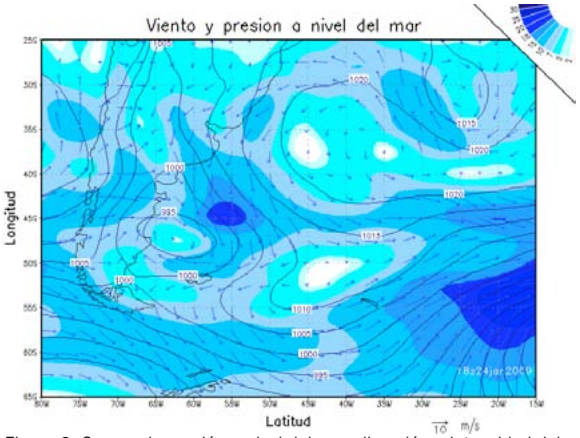


Figura 3: Campo de presión a nivel del mar, dirección e intensidad del viento para el 24 de enero de 2009 a las 0z y 18z (izquierda y derecha respectivamente).

La tormenta de polvo se detecta claramente en la región de Viedma en las imágenes MODIS/Aqua del 22 de enero, MODIS/Terra del 23 de enero y MODIS/Aqua (Figura 4) del mismo día y en la zona de San Antonio Oeste el 24 de enero en la imagen MODIS/Aqua.

Figura 4: Imagen MODIS/Terra del 23 de enero de 2009.

La figura 5 presenta el espesor óptico de aerosoles estimado por el MODIS/Aqua, que indica que la pluma de emisiones iniciada el día anterior alcanza al menos la zona alrededor de 47ºS – 50ºO. Esta medición coincide con la estimación del modelo HYSPLIT para dicha hora (Figura 6a). En las 24 horas siguientes, la dispersión continua hacia el este, superando los 30ºO (no mostrado), un distancia de 2.500 km.

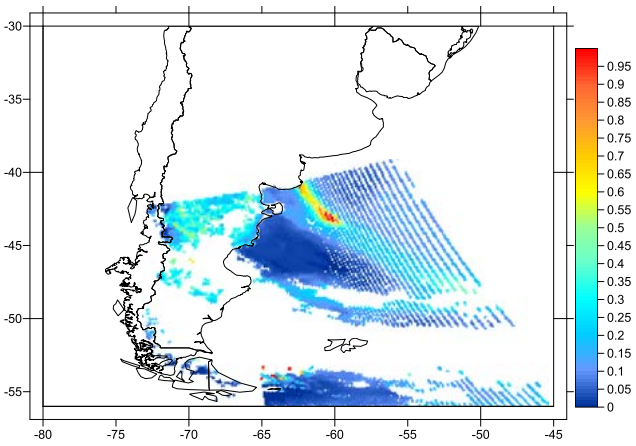


Figura 5. Espesor óptico de aerosoles MODIS/Aqua del 23 de enero de 2009.

Según las determinaciones del lídar satelital CALIOP, los aerosoles en la zona cercana a las emisiones del 23 de enero alcanzan una altura de 5 km (Figura 6b). Otras determinaciones del mismo día, así como las del 24 de enero más hacia el este, indican una altura de aproximadamente 2,5 km.

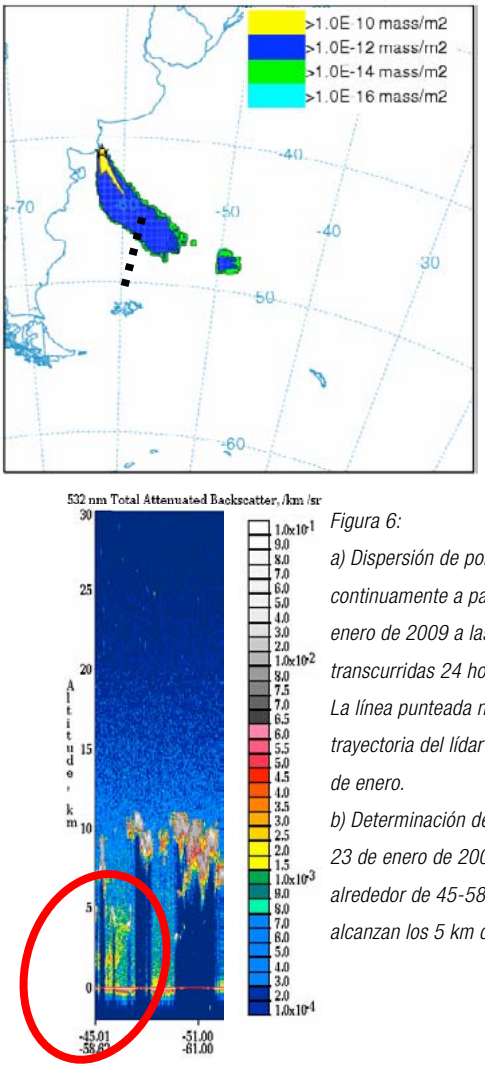


Figura 6:
a) Dispersión de polvo emitido continuamente a partir del 22 de enero de 2009 a las 19.00 UTC, transcurridas 24 horas (HYSPLIT). La línea punteada negra muestra la trayectoria del lídar CALIOP el 23 de enero.
b) Determinación del lídar CALIOP 23 de enero de 2009. En la región alrededor de 45-58ºS, los aerosoles alcanzan los 5 km de altura.

Tormenta de polvo del 28 de marzo de 2009

El 27 de marzo de 2009 un sistema frontal frío avanza desde las costas de Chile con un centro de baja presión asociado ubicado al sur del Pacífico con valores de 968 mb. Se verificó un sistema de nubes asociado a este sistema frontal. El sistema de bajas presiones avanza durante el 28 de marzo hacia el este determinando vientos fuertes de 135 km/h en Comodoro Rivadavia (Figura 7a). Hacia la tarde del día 28 el frente frío (Figura 7b), asociado al centro de baja presión, penetra en el norte de la Patagonia, la que ya se encuentra invadida por aire frío y fuertes vientos del sur y sudoeste.

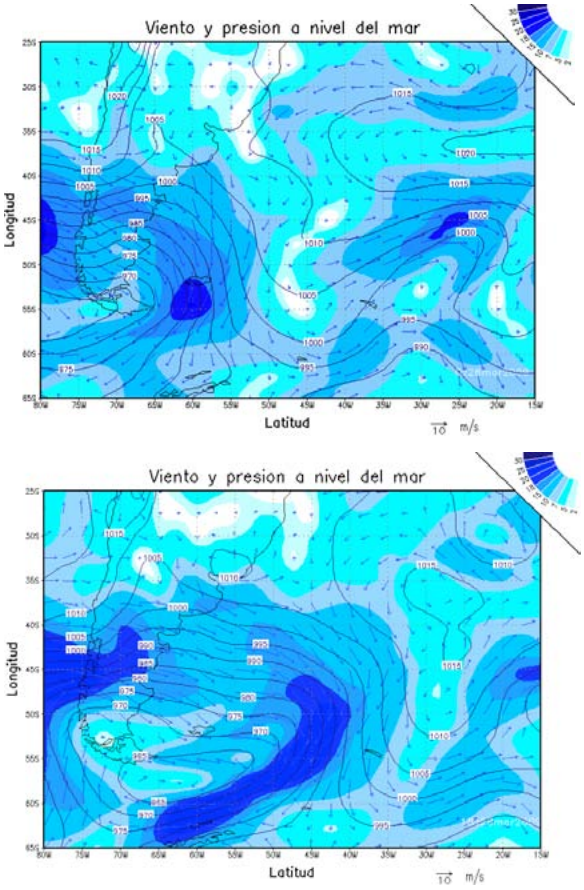


Figura 7: Campo de presión a nivel del mar, dirección e intensidad del viento para del 28 de marzo de 2009 a las 0z (a) y 18z (b) (izquierda y derecha respectivamente).

En la imagen MODIS/Terra de las 14.30 UTC del 28 de marzo se observan tormentas de polvo ya desarrolladas en la región de Viedma e incipientes en las zonas del sur. Los datos de espesores ópticos de aerosoles MODIS/Aqua (Figura 8), de las 18.45 UTC, muestran una pluma de polvo con un extensión de más de 500 km. El espesor óptico de esta pluma es en gran parte superior a 3[5]. En la figura 9 se observa el desarrollo de tormentas de polvo en dirección perpendicular a una línea de costa de más de 700 km de extensión.

El modelo de trayectorias HYSPLIT (Figura 9) indica que las parcelas emitidas a alturas de 10 y 100 m permanecen cerca de la superficie, mientras que las que se encuentran a mayores alturas en los puntos de emisión se elevan a alturas de 1500 m, alcanzando incluso alturas mayores (más de 4500 m) las iniciadas en la zona de Viedma. El lídar CALIOP detectó aerosoles a alturas de 3 a 5 km en sus pasadas del 28 y 29 de marzo por esta región del Atlántico Sur.

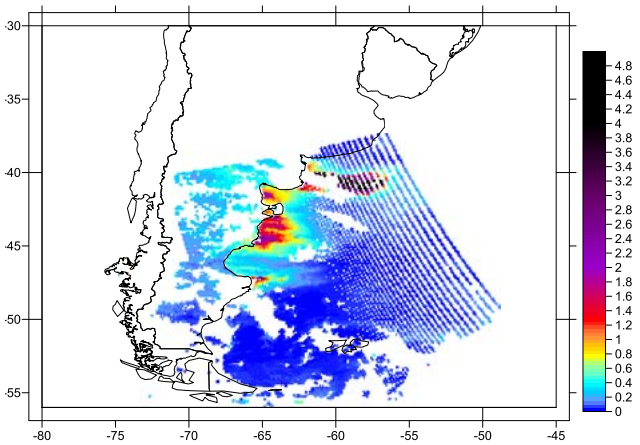


Figura 8: Espesor óptico de aerosoles MODIS/Aqua del 28 de marzo de 2009.

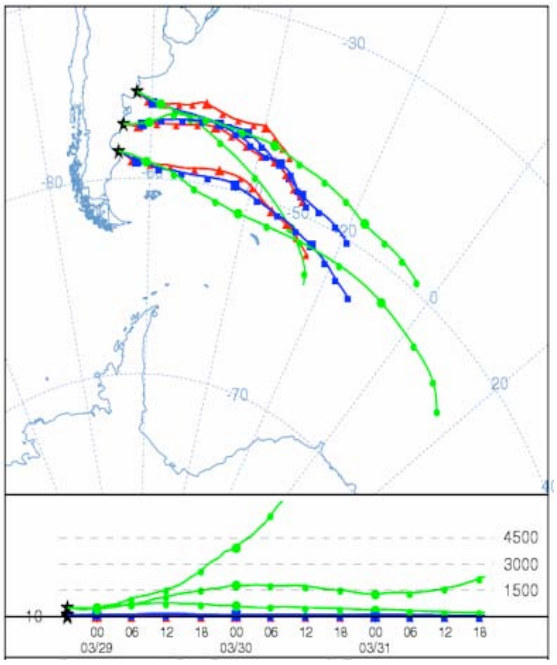


Figura 9: Trayectorias durante 72 horas iniciadas el 28 de marzo de 2009 a las 19.00 UTC. Las alturas iniciales fueron de 10, 100 y 500m. En la parte inferior las alturas alcanzadas por las parcelas. La parcela que se eleva por sobre los 4.500 m corresponde al punto inicial de Viedma.

Tormenta de polvo del 5 abril de 2009

Al comenzar el mes se observó el pasaje de un frente frío en el sur de la Patagonia que originó precipitaciones de variada

5 El espesor óptico de aerosoles se mide en una escala sin unidades de 0 a 5. El píxel de medición de aerosoles del MODIS es de 10x10 km. La presencia de nubes impide las mediciones.

intensidad y algunas tormentas aisladas y ráfagas de viento que superaron los 90 km/h. Se registraron fuertes vientos en Santa Cruz y Tierra del Fuego. En la tarde del 3 de abril el frente frío se extiende desde el océano Pacífico hasta el Atlántico Sur separando aire caliente y húmedo en el centro y norte de Argentina del aire muy fresco y seco de la Patagonia. Este frente irá avanzando el día 4 y 5 determinando fuertes vientos con intensidad de temporal en la región. Las ráfagas de viento alcanzaron los 100 km/h en Comodoro Rivadavia, y de 70 km/h en Trelew y Rawson. Se observa un área de bajas presiones localizada al sudeste de Argentina (Figura 10).

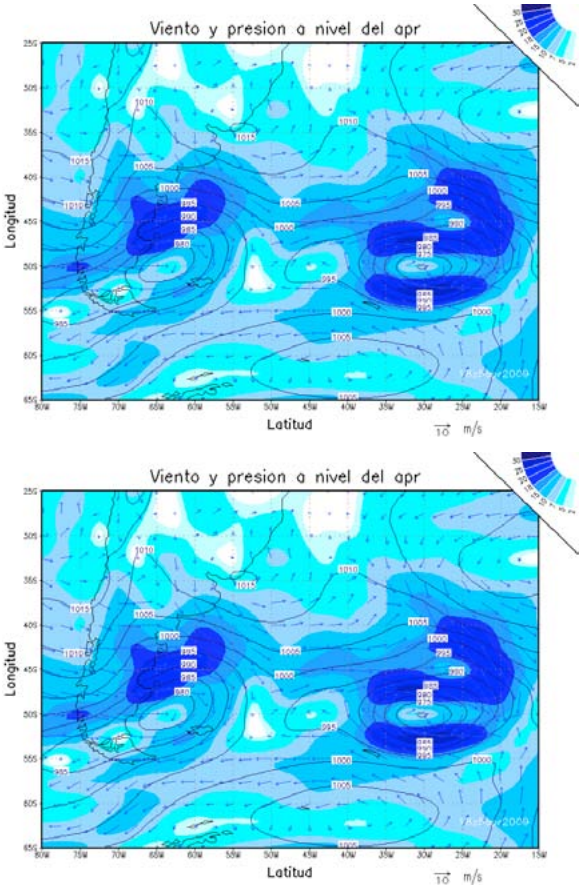
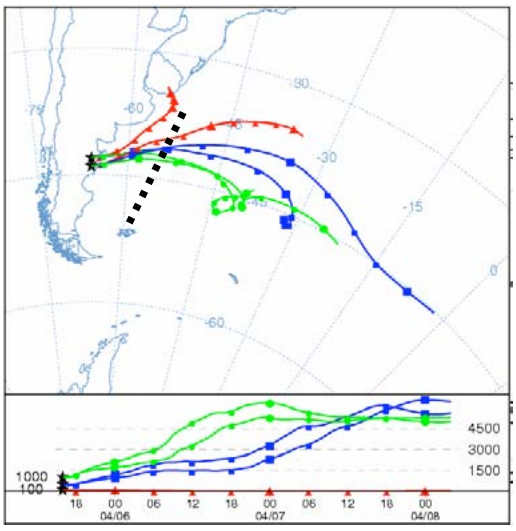


Figura 10: Campo de presión a nivel del mar, dirección e intensidad del viento para el 5 de abril de 2009 a las 0z y 18z (izquierda y derecha respectivamente).

Las tormentas de polvo comenzaron a desarrollarse alrededor de las 14 UTC, apenas detectables en la imagen MODIS/Terra. La imagen MODIS/Aqua (Figura 11), de las 18.45 UTC muestra las tormentas plenamente desarrolladas. Se observa en particular una densa pluma que atraviesa la Península Valdés.

Figura 11: Imagen MODIS/Aqua del 5 de abril de 2009.

La figura 12a muestra las trayectorias calculadas con el modelo HYSPLIT. Si bien las trayectorias iniciadas en los niveles más bajos (100 m o menores) se mantienen cercanas a la superficie, las iniciadas a una altura de 500 m alcanzan durante el día 6 de abril una altura entre 1.500 y 2.500 m y un ascenso hasta alturas superiores a los 4.500 m en las horas posteriores. Las trayectorias iniciadas a 1000 m alcanzan una altura de alrededor de 3 km, coincidente con los aerosoles detectados por el lídar CALIOP en su pasada del 6 de abril por la región (Figura 12b).



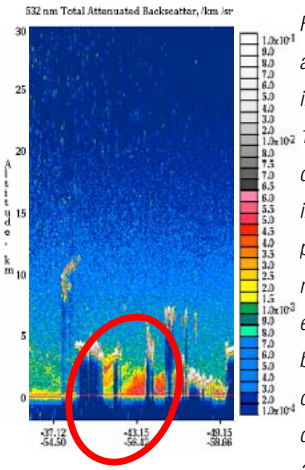


Figura 12:
a) Trayectorias durante 60 horas iniciadas el 5 de abril de 2009 a las 16.00 UTC. Las alturas iniciales fueron de 100, 500 y 1000 m. En la parte inferior las alturas alcanzadas por las parcelas. La línea punteada negra muestra la trayectoria del lídar CALIOP el 6 de abril.
b) Determinación del lídar CALIOP del 6 de abril de 2009. En la región alrededor de 43-56ºS, los aerosoles alcanzan los 3-4 km de altura.

Conclusiones

En este trabajo se analizaron situaciones de tormentas de polvo detectadas por medio de imágenes satelitales y medición de espesor óptico de aerosoles de AERONET Trelew. Las condiciones nubosas que acompañan a los eventos dificultan muchas veces el diagnóstico por medio de las imágenes satelitales, pero son una herramienta útil en la observación de estos fenómenos en la Patagonia, donde la distancia entre las estaciones meteorológicas, situadas en la región costera, es del orden de los 250km.

Se realizó el seguimiento de las plumas de polvo mediante la simulación del transporte con el modelo HYSPLIT y la comprobación de su extensión y altura con datos satelitales MODIS y CALIOP.

Aunque el polvo no alcanza la Antártida dentro de las primeras 48 a 72 horas, parte de él se encuentra suspendido a alturas de 3 a 5 km en latitudes de 45-50ºS. Desde allí, es posible su transporte a latitudes más altas por los sistemas ciclónicos que se desplazan hacia el este (Pereira et al., 2006). La dilución de las plumas impide el seguimiento posterior de las mismas por medio de los datos satelitales utilizados en este trabajo.

La altura que alcanza el polvo, su transporte y dispersión, es altamente dependiente de la altura que alcanzan las plumas en la zona de emisión debido a que solo las parcelas que ascienden inicialmente por sobre los 500 m se elevan posteriormente sobre el océano.

Con los métodos de seguimiento satelital utilizados no es posible determinar las deposiciones en el océano ni la proporción de polvo que podría alcanzar la Antártida. Se necesitarían estudios coordinados de emisión, transporte e inmisión para evaluar cuantitativamente los aportes de polvo a estas regiones.

Bibliografía

- Draxler, R. R., Hess G.D., 1998. An overview of the HYSPLIT_4 modelling system for trajectories , dispersion and deposition. Aust. Met. Mag., 47, 295-308
- Erickson, D., Hernandez, J., Ginoux, P., Gregg W., McClain, C., Christian, J., 2003. Atmospheric iron delivery and surface ocean biological activity in the Southern Ocean and Patagonian region Geophysical Research Letters, Vol. 30, NO. 12, 1609.
- Fiebig, M, Lander, C., Stohl, A., 2009. Tracing biomass burning aerosol from South America to Troll Research Station, Antarctica. Geophysical Research Letters, Vol. 36, L14815.
- Frumento, O., 2009. Caracterización de las tormentas de polvo en la región patagónica por medio de un modelo climático regional. Actas del XIII Congreso Latinoamericano e Ibérico de Meteorología (CLIMET XIII) y el X Congreso Argentino de Meteorología (CONGREMET X), 5-9 Octubre 2009.
- Gaiero, D. M., Probst, J. L., Depetris, P. J., Bidart, S. M., Leleyter, L., 2003. Iron and other transition metals in Patagonian riverborne and windborne materials: geochemical control and transport to the southern South Atlantic Ocean. Geochim. Cosmochim. Acta 67. (19), 3603–3623.
- Gao Y, Kaufman Y., Tanré D., Kolber D., Falkowski P., 2001. Seasonal distribution of Aeolian iron fluxes to the global ocean. Geophysical Research Letters, Vol. 28, 1, 29-32.
- Gassó, S., Stein, A., 2007. Does dust from Patagonia reach the sub-Antartic Atlantic Ocean? Geophysical. Research Letters, 34, L01801.
- Goudie, A., 2009. Dust storms: Recent developments. Journal of Environmental Management 90 89–94
- Jickells, T. D., An, Z. S., Andersen, K. K., Baker, A. R., Bergametti, G., Brooks, N., Cao, J. J., Boyd, P. W., Duce, R. A., Hunter, K. A., Kawahata, H., Kubilay, N., laRoche, J., Liss, P. S., Mahowald, N., Prospero, J. M., Ridgwell, A. J., Tegen, I., Torres, R., 2005. Global Iron Connections Between Desert Dust, Ocean Biogeochemistry, and Climate. Science, 308, 67.
- Johnson, M., Meskhidze, N., Solmon, F., Fairlie, D. Gasso, S., Gaiero, D., 2008. Modeling Patagonian Dust and Soluble Iron Deposition to the Southern Ocean: Application of GEOS-Chem. 7th Annual CMAS Conference, Chapel Hill, NC, 6 - 8 October.
- Li, F., Ginoux, P., Ramaswamy, V., 2008. Distribution, transport, and deposition of mineral dust in the Southern Ocean and Antarctica: Contribution of major sources Journal of Geophysical Research, Vol. 113, D10207.
- Mattio, C., 2009. Eventos de tormenta de polvo en la República Argentina. Análisis meteorológico y pronóstico de dispersión de material particulado. Actas del XIII Congreso Latinoamericano e Ibérico de Meteorología (CLIMET XIII) y el X Congreso Argentino de Meteorología (CONGREMET X), 5-9 Octubre 2009.
- Ostera, H. A, Parica, C. A., Remesal, M. B., Salani, F. M.,1993. “Factores De Riesgo Asociados A Nubes De Ceniza En Suspensión En Áreas Afectadas Por Vulcanismo con Vientos Dominantes De Gran Intensidad. III Congreso Internacional Sobre Desastres, La Habana, Cuba. Actas s/n. Octubre 1992.
- Pereira, E. B., Evangelista, H. K. Pereira, C. D. Cavalcanti, I. F. A., Setzer, A. W., 2006. Apportionment of black carbon in the South Shetland Islands, Antarctic Peninsula, J. Geophys. Res., 111.

- Próspero, J., Ginoux, P., Torres, O., Nicholson S., Gil, T., 2002. Environmental Characterization of Global Sources of Atmospheric Soil Dust Identified with the Nimbus 7 Total Ozone Mapping Spectrometer (TOMS) Absorbing Aerosol Product. American Geophysical Union. Reviews of Geophysics, 40, 1.
- Remer, L. A., Kaufman, Y. J., Tanré, D., Mattoo, S., Chu, D. A., Martins, J. V., Li, R. R., Ichoku, C., Levy, R. C., Kleidman, R. G., Eck, T. F., Vermote, E., Holben, B. N., 2005. The MODIS aerosol algorithm, products and validation, J. Atmos. Sci., 62(4), 947–973.
- Scasso, R., Corbella, H., Tiberi, P., 1994. Sedimentological analysis of the tephra from the 12–15 August 1991 eruption of Hudson volcano. Bull. Volcanol. 56, 121–132.
- Servicio Meteorológico Nacional, 2009 Informes meteorológicos especiales En www.smn.gov.ar
- Winker, D. M., Hunt W. H., McGill, M. J., 2003. Initial performance assessment of CALIOP. J.Geophys. Res ., 34, L19803.

ANÁLISIS DE TEFRAS DE LA ERUPCIÓN DE 1932 DEL VOLCÁN QUIZAPÚ (35°39'12"S - 70°45'39"W), REGIÓN DE LA LAGUNA LLANCANELO (MENDOZA)

Elizabeth I. Rovere (1, 6)
Roberto A. Violante (2, 6)
Andrea Romano (3, 6)
Mariana Monti (4, 6)
D. Sabina D´Ambrosio (5, 6)
Guadalupe Buceta (1, 6)

(1) SEGEMAR. Dirección de Geología Regional. Av. Julio A. Roca 651, 10° Piso, Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Argentina. eirovere@gmail.com.
(2) Servicio de Hidrografía Naval. División Geología y Geofísica Marina. Av. Montes de Oca 2124, Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Argentina.
(3) INTEMIN, Instituto Nacional de Tecnología Minera. SEGEMAR, San Martín (Pcia. de Buenos Aires).
(4) Facultad de Ciencias Naturales y Museo. Universidad Nacional de La Plata (Pcia. de Buenos Aires).
(5) Becaria de Nivel Inicial PICT 2006-1311, Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva, Agencia Nacional de Promoción Científica y Tecnológica.
(6) GEVAS. Grupo de Estudio de Volcanes, Ambiente y Salud. Carlos Pellegrini 833, Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Argentina.

Palabras Claves

- Tefras
- Volcán Quizapú
- Laguna Llancanelo
- Riesgo
- Salud

Introducción

La erupción del volcán Quizapú (complejo eruptivo Descabezado Grande, Provincia de Talca, Chile, 35°39'12"S - 70°45'39"W) (Fig. 1) ocurrida entre el 10 y 11 de abril de 1932, fue uno de los eventos volcánicos más significativos del siglo XX. Alcanzó un VEI (Índice de Explosividad Volcánica) de 5 y produjo una enorme dispersión de cenizas, las que influenciadas por los vientos dominantes del oeste afectaron particularmente las zonas proximales situadas al este de la Cordillera de Los Andes (Departamento Malargüe, Mendoza). Las consecuencias ambientales y sociales fueron graves, entre las cuales se destaca el drástico cambio en la agricultura, la ganadería de pastoreo y las economías regionales.

La erupción demandó gran interés por su estudio científico a partir del mismo momento en que ocurrió. Observaciones realizadas por Kittl (1933) tanto sobre sus alcances, características y productos, señalaron un tipo explosivo subpliniano, que produjo inicialmente una columna de gas y vapor que alcanzó unos 15 km de altura, acompañado de explosiones y tempestades eléctricas. Posteriormente se inició la caída de cenizas, arena y lapilli, que se fueron dispersando en una secuencia granodecreciente con la distancia. Los bloques de mayor tamaño cayeron obviamente en las inmediaciones del volcán. Mediciones realizadas en perfiles y transectas al este del río Grande revelaron caída de eyectos de hasta 6 cm de diámetro "semejantes a piedra pómez de textura esponjosa y livianas, con alto contenido de cristales", disminuyendo gradualmente su tamaño hacia el este; el espesor de las capas resultantes alcanzó los 45 cm. en ese área. En regiones algo más alejadas -que llegaron hasta la localidad de Malargüe- se acumularon hasta 15 cm de tefras tamaño arena y gravilla de hasta 3 mm de diámetro. Por su parte, al este de Malargüe cayeron tefras finas y cenizas de tamaños menores a 5 mm que llegaron a materiales finos tamaño limo y arcilla, con espesores de algunos pocos centímetros. De esta manera, toda la región del sur de Mendoza fue cubierta por los productos de la erupción, que alcanzaron gran dispersión en las provincias vecinas y afectaron inclusive la ciudad de Buenos Aires y la Costa Atlántica.

González Ferrán (1993) detalló algunos aspectos más específicos sobre el tipo de erupción. Consideró que fue de carácter pliniano, eyectando una columna de tefra dacítica (70% SiO2) que se elevó hasta 15/20 km de altura desarrollando un hongo de más de 50 km de diámetro. El volumen de tefra fue calculado entre 25 y 30 km3 con un peso de unas 150 ton/km2. La pluma se desplazó hacia el este-noreste a una velocidad entre 25 y 60 km/h, llego a Buenos Aires y atravesó el Océano Atlántico hasta las costas de África. El impacto de la erupción se manifestó en el incremento de los aerosoles, que generaron una disminución en la cantidad de energía solar recibida por la tierra que duró aproximadamente dos años.

Fig. 1: Complejo Volcánico Descabezado Grande. El cono truncado a mitad de la ladera es el Quizapú. El pico más alto es el C° Azul. Fotografía del Smithsonian Institute, Global Volcanism Program, http://www.volcano.si.edu/world/list.cfm.

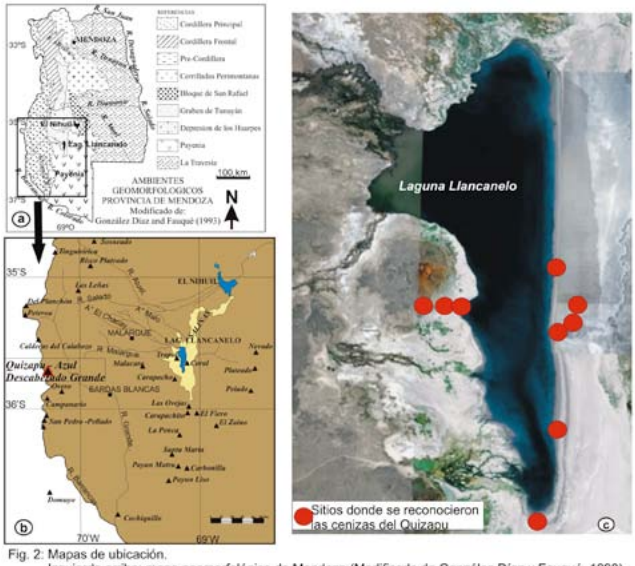


Fig. 2: Mapas de ubicación.
Izquierda arriba: mapa geomorfológico de Mendoza (Modificado de González Díaz y Fauqué, 1993).
Izquierda abajo: ubicación del Volcán Quizapu, Laguna Llancanelo y otros rasgos de la región.
Derecha: Laguna Llancanelo y sitios donde se hallaron las cenizas del Quizapu.

Según el Smithsonian Institute (http://www.volcano.si.edu/world/list.cfm), la erupción formó un cráter de 600-700 m de ancho y 150 m de profundidad, eyectando 9,5 km3 de tefra dacítica.

Abraham y Prieto (1993) efectuaron una recopilación de los efectos de la erupción en aspectos sociales, agricultura, ganadería y economía regionales, destacando fundamentalmente la intensificación en los procesos de desertificación en el sur de Mendoza. Según esos autores, los registros climáticos de la Estación Malargüe revelaron descensos en las temperaturas en los dos años siguientes al evento.

El presente trabajo tiene en consideración el estudio de la erupción del Volcán Quizapú con una óptica multidisciplinaria, analizando sus características, productos y alcances no solamente desde el conocimiento geológico sino también por sus implicancias sociales y ambientales. Las actividades llevadas a cabo por los autores se encuadran en diversos proyectos que abarcan las regiones de la laguna Llancanelo y Payenia, durante el desarrollo de los cuales se reconocieron las tefras resultantes de la erupción en numerosos sitios. Cabe destacar que el volcán se encuentra ubicado a la misma latitud que la laguna (Fig. 2), de manera que este cuerpo de agua se encuentra en la trayectoria que las tefras han seguido impulsadas por los vientos dominantes. Las cenizas recolectadas están siendo estudiadas con diferentes metodologías. En esta contribución se aportan resultados provenientes de relevamientos de campo y análisis de laboratorio. El estudio de la textura, tamaño y composición química de esos materiales permitirá definir los niveles guía y caracterizarlos para conocer el área de influencia de la erupción, su distribución y dispersión regional. Por otra parte, los niveles preservados en las secuencias sedimentarias podrán ser diferenciados de otras intercalaciones volcánicas que forman parte del registro geológico, lo cual ayudaría a reconstruir eventos volcánicos del pasado y evaluar la historia evolutiva de los volcanes que pudieron darles origen. Asimismo, este estudio aportará al establecimiento de las bases para una clasificación sistemática y comparativa de la peligrosidad volcánica en la salud y la sociedad (en erupciones históricas y recientes), que podría aplicarse a otros eventos eruptivos como por ejemplo los de los volcanes Hudson, Copahue, Chaitén, Llaima y Peteroa.

Estudios de Campo

En la planicie lacustre adyacente a la laguna Llancanelo se halló, entre 7 y 20 cm de profundidad por debajo de la superficie del suelo, un nivel de tefras de 5 a 10 cm de espesor correspondiente a la erupción del Quizapú. Este nivel fue reconocido en todo el entorno de la laguna (Fig. 2) en numerosos afloramientos así como en pozos y calicatas que fueron realizados para los estudios del suelo poco profundo, y también muestreado en la parte superior de testigos del subsuelo (los cuales alcanzaron hasta 1,80 m de longitud). Las cenizas se encuentran sepultando tanto sedimentos lagunares como niveles de suelos y depósitos eólicos, demostrando que la erupción produjo un significativo efecto en el ambiente. La Fig. 3 muestra diversos perfiles de calicatas y un testigo donde se hallaron las cenizas, las cuales se reconocen por su color gris claro-blanquecino en la parte superior de las secuencias (indicado en las fotografías por las flechas amarillas).

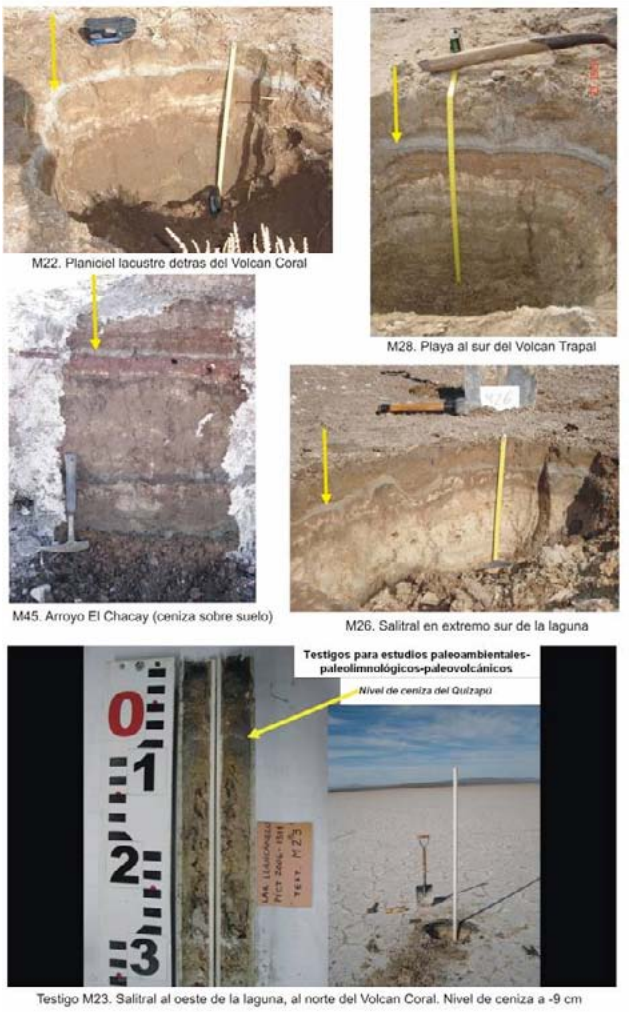


Fig. 3: Perfiles con cenizas del Quizapu.

Análisis de Laboratorio

Se efectuaron análisis sedimentológicos y químicos semicuantitativos sobre muestras de cenizas recolectadas de diferentes afloramientos, calicatas y testigos. En el caso de los testigos, se obtuvieron muestras a lo largo de ellos a intervalos de 10 cm, para tener una secuencia completa de los niveles de subsuelo atravesados, y particularmente se muestreó (de ser reconocido) el nivel de cenizas del Quizapú que se lo halló en la parte superior. En todos los casos, las muestras obtenidas estuvieron sujetas a métodos de lavado y tamizado -en seco y en húmedo-, recolectándose así el material adecuado para su posterior preparación con el fin de realizar la observación y análisis con microscopio petrográfico, electrónico y microsonda EDAX.

El nivel de cenizas tiene una granulometría media que en la mayoría de los casos se ubica en las fracciones arena mediana a fina. Son depósitos bien seleccionados con curvas granulométricas de carácter unimodal que generalmente muestran dos tramos, uno de tamaños más gruesos que podría corresponder a sedimentos transportados por saltación y otro de tamaños más finos correspondiente a la fracción llevada en suspensión (Fig. 4). De acuerdo a Kittl (1933), los componentes mineralógicos más importantes son vidrio claro y oscuro y fenocristales de hornblenda, piroxeno, olivina, magnetita y plagioclasa, aunque en porcentajes variables según la granulometría y la distancia al foco de erupción.

Las observaciones efectuadas para este trabajo con microscopio petrográfico y electrónico sobre unas 20 muestras de los alrededores de la laguna Llancanelo, indican que las cenizas están formadas casi exclusivamente (a veces >90%) por trizas vítreas que en gran parte son transparentes, con diámetros entre 5 y 300 micrones. La composición química revelada por el análisis con microsonda EDAX (Figs. 5 y 6) indica predominio de Si, Al y O -en ese orden- con los siguientes valores: SiO_2: 46,59 a 68,70% y Al_2O_3: 16,22 a 35,11 %. Componentes minoritarios son Na_2O: 0,99 a 9,74%; CaO: 1,39 a 4,96%; K_2O: 1,34 a 3,89%; y proporciones menores de Fe_2O_3, CuO, MgO, SO_3 y TiO_2. Estos resultados confirman los análisis químicos realizados previamente por Kittl (1933), quien analizó tres muestras de piroclastos y cenizas de sitios más cercanos al Volcán Quizapú en la cordillera de Los Andes obteniendo los siguientes porcentajes: SiO_2: 63,79 a 67,45% y Al_2O_3: 15,61 a 17,28%. Componentes minoritarios son Na_2O: 4,76 a 6,87%; CaO: 3,06 a 3,87%; K_2O: 2,83 a 3,37%; y proporciones menores de Fe_2O_3, FeO, MgO, MnO y TiO_2.,

Los análisis con microscopio electrónico señalan también que las trizas son de formas variadas, tanto equidimensionales (redondeadas a angulosas) como alargadas / prismáticas e irregulares, con estrías y distintos grados de vesicularidad (Fig. 7, detalle en Fig. 8). En cualquiera de estos tipos se hallan a su vez tanto texturas vidriosas macizas con superficies de relieve suave y uniforme (tipo S), como otras no suaves muy irregulares, alveolares y con oquedades (tipo NS) (Fig. 8). Los tipos S (smooth, con o sin vesículas) y NS (non smooth) son indicadores de frescura o alteración de las partículas de vidrio (Miwa et al., 2009), los cuales responden a aspectos relacionados con las características explosivas de la erupción, energía del transporte de cenizas, contenido de gases y procesos post-depositacionales.

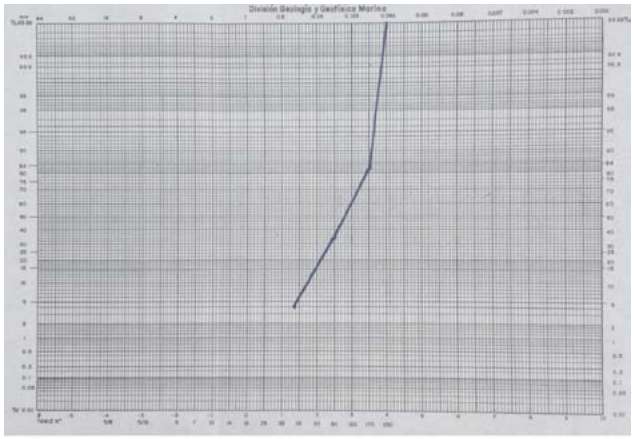


Fig. 4: curva granulometrica de la Muestra M5-3

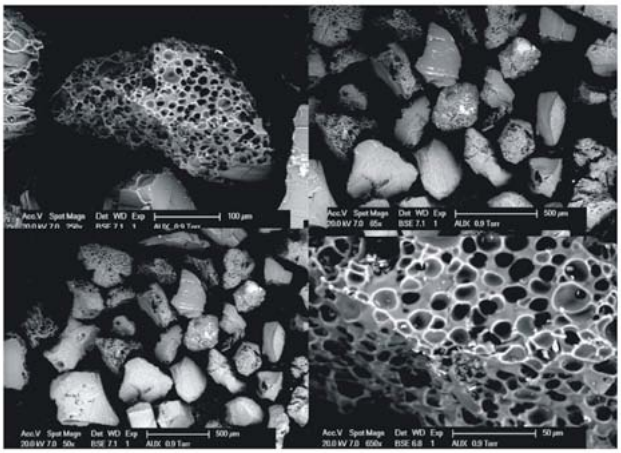


Fig. 7. Microfotografías de trizas vítreas del Volcán Quizapú halladas en la región de la Laguna Llancanelo.

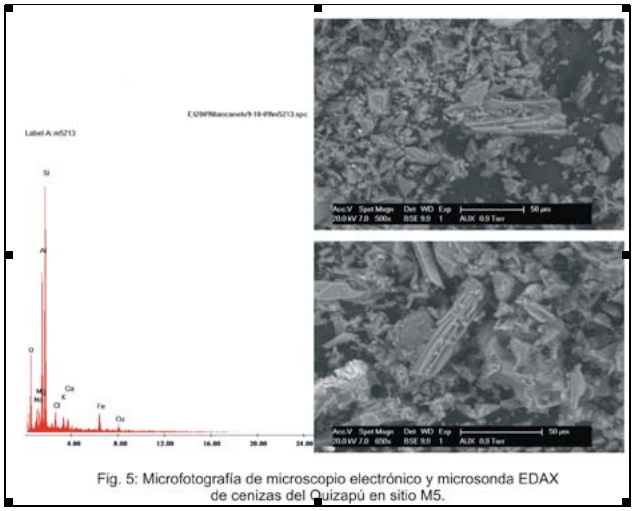


Fig. 5: Microfotografía de microscopio electrónico y microsonda EDAX de cenizas del Quizapú en sitio M5.

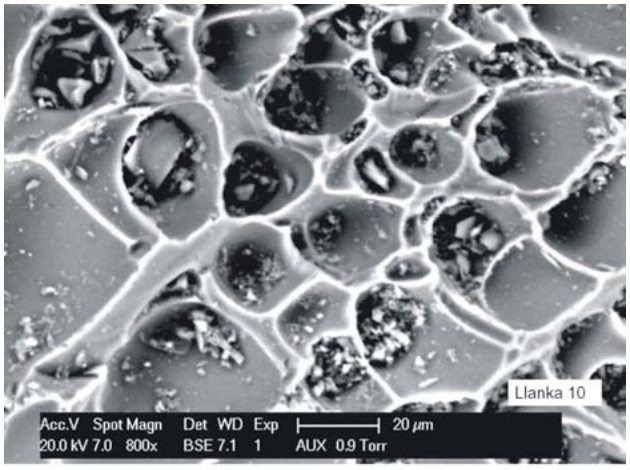


Fig. 8. Detalle de una triza vítrea con vesículas redondeadas, poco elongadas y equidimensionales, indicando alto grado de suspensión durante el enfriamiento y la degasificación.

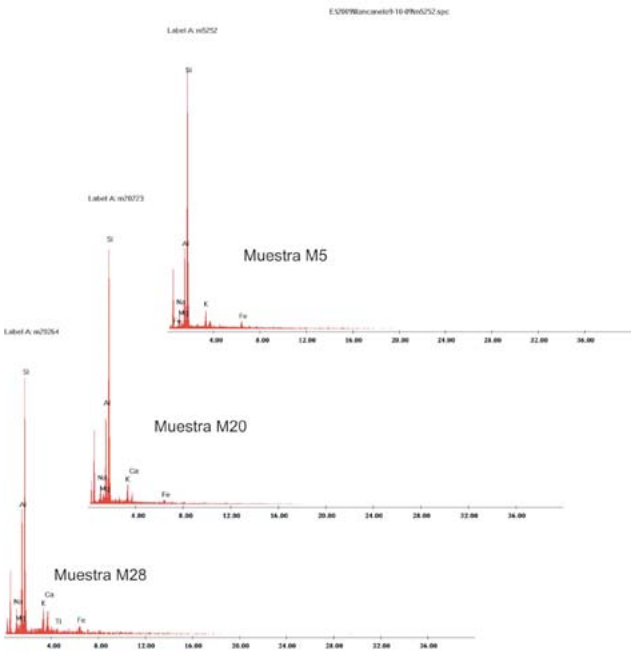


Fig. 6. Sonda EDAX de diversas muestras de las tefras y cenizas del Quizapu.

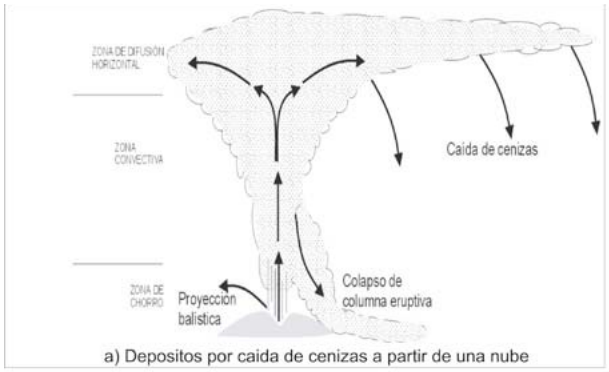
INTERPRETACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS DE LA ERUPCIÓN DEL QUIZAPÚ

De acuerdo a las características de las tefras analizadas en la zona de la Laguna Llancanelo, apoyado en el conocimiento del volcanismo del arco andino en la región, se puede inferir que la erupción del Quizapú tuvo los siguientes tipos de procesos y depósitos (Fig. 9): a) Depósitos producidos por caída de tefras y cenizas (ash falls), o depósitos de proyección aérea; b) Depósitos producidos por flujos piroclásticos “ss” (pyroclastic flows); c) Depósitos producidos por flujos piroclásticos diluidos o surges piroclásticos (pyroclastic surges).

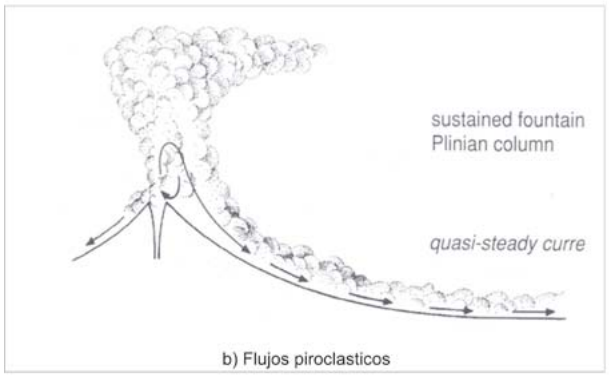
- Depósitos producidos por caída de tefras y cenizas (ash falls), o depósitos de proyección aérea (Fig. 9a): son depósitos directamente resultantes de la acción de la gravedad sobre una columna eruptiva pliniana, transportada lateralmente -en las zonas más altas de la nube- en determinada dirección por los vientos dominantes y las corrientes atmosféricas convectivas.
- Depósitos producidos por flujos piroclásticos “ss” (pyroclastic flows) (Fig. 9b): flujos densos cercanos al piso

derivados de la columna pliniana, que pueden alcanzar velocidades de hasta 235 km/h alcanzando distancias de hasta 200 km desde el centro emisor, siendo generalmente encauzados en las zonas topográficamente más bajas de valles y depresiones.

- Depósitos producidos por flujos piroclásticos diluidos o surges piroclásticos (pyroclastic surges) (Fig. 9c): se originan por colapso de la columna pliniana y se dispersan radialmente o en la dirección de las pendientes, como oleadas turbulentas inducidas por la temperatura y velocidad del flujo. La dinámica del movimiento de la masa hace que sean flujos diluidos de alta velocidad.



a) Depositos por caida de cenizas a partir de una nube



b) Flujos piroclasticos

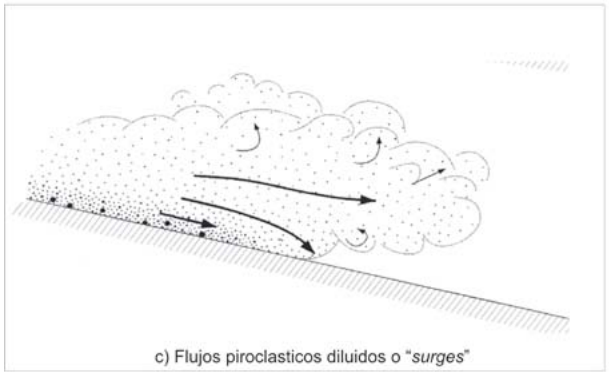

c) Flujos piroclasticos diluidos o "*surges*"

Fig. 9. Tipos de procesos y depositos.

IMPACTO DE LA ERUPCIÓN EN EL AMBIENTE Y POBLACIÓN

La erupción del Quizapú tuvo consecuencias graves en el sur de Mendoza. Abraham y Prieto (1993) ya habían discutido muchos de los impactos en los suelos, agricultura y ganadería regionales, por ejemplo la desertificación aumentada principalmente por efectos del cambio del clima, la casi desaparición de algunos cultivos como la cebada y otros cereales, la escasez de pastos para alimentación de los animales por la acumulación de cenizas, el cegamiento de cauces con la consecuente escasez de agua, las dificultades de movilidad de los animales (particularmente los ovinos) por el peso de la ceniza en sus lomos, epidemias en la población (por ejemplo difteria), entre otros.

De acuerdo al conocimiento adquirido recientemente, los efectos pueden resumirse en los siguientes aspectos:

Salud: debe tenerse en cuenta el tamaño y la acicularidad de las partículas, que al ingresar al organismo durante la respiración pueden afectar severamente los pulmones, bronquios y otros tejidos del sistema respiratorio, como así también producir problemas de piel y ojos. No hay registros de este tipo de efectos en la región como consecuencia de la erupción del Quizapú y de la posterior removilización eólica de la ceniza, pero de la observación microscópica de éstas -que en muchos casos muestran formas irregulares y aguzadas con granulometrías adecuadas para producir lesiones en los tejidos pulmonares-, y sobre la base del conocimiento actual sobre la materia (ver por ejemplo informes del IVHHN–International Volcanic Health Hazard Network: www.ivhhn.org y publicaciones relacionadas –por ejemplo Horwell y Baxter, 2006; Horwell, 2007) seguramente deben haber ocurrido ese tipo de consecuencias para la salud.

Impacto Social: las migraciones y marginalidad debido al empobrecimiento de los recursos económicos, principalmente en el desarrollo agrícola-ganadero, fueron aspectos significativos de los tiempos post-erupción del Quizapú.

Impacto Económico: a pesar de las estadísticas coincidentes sobre la recuperación de suelos a partir de los 10 años de la caída de cenizas, en el caso de la erupción del Quizapú -después de más de 70 años-, la recuperación de la economía y de los suelos fértiles no parece ocurrir. Por el contrario, la tradición oral señala la pérdida definitiva de algunos cultivos y su reemplazo por otros mucho menos rentables. Si bien existen otros factores de gran impacto, propios de la segunda mitad del siglo XX -como la inestabilidad económica nacional e internacional-, las actividades mineras y petrolíferas en la región parecen encubrir los datos de factibilidad del desarrollo agrícola ganadero.

Impacto psicosocial: es evidente que los efectos mencionados han de haber producido muy importantes consecuencias psicosociales, que debieron traducirse en numerosos problemas surgidos con posterioridad a la

erupción. Aún hoy perduran en el recuerdo de los pobladores de mayor edad los efectos físicos de la erupción (oscuridad que duró muchas horas, caída de "arena desde el cielo" que muchos pensaron que era nieve, tormentas inexplicables, muerte de animales y deterioro de los suelos y cosechas).

Cambio Climático: los años posteriores a la erupción se caracterizaron por descensos drásticos en las temperaturas y en la radiación solar (Abraham y Prieto, 1993), que provocaron modificaciones en las condiciones necesarias para el desarrollo de la flora y agricultura originales, induciendo al recambio de especies y de la capacidad de los suelos.

Conclusiones

Se han reconocido a nivel regional los depósitos producidos por la erupción del Volcán Quizapú en 1932, los que constituyen un manto de pocos centímetros de espesor, de extensión prácticamente continua, en el área de la laguna Llancanelo. Se infiere que los procesos que han colaborado con el transporte y depositación de las tefras y cenizas han sido la caída directa por acción de la gravedad a partir de una columna eruptiva, y los flujos y surges piroclásticos. El manto de materiales volcánicos, al momento de su depositación, cegó cauces, secó los sectores menos profundos de la Laguna Llancanelo y sepultó suelos, de manera que su impacto en el ambiente fue muy significativo. Por otra parte, sus consecuencias fueron mucho mayores en la economía regional así como en las condiciones psicosociales de las poblaciones. El estudio de las tefras y cenizas revela que el tamaño y composición de muchos de los componentes fueron los adecuados como para llegar a producir serios problemas respiratorios. Los estudios sobre las cenizas y tefras del Quizapú proseguirán, ya que los resultados a obtener serán muy importantes para establecer el impacto de la erupción y poder aplicar el conocimiento así generado al estudio de otros volcanes activos.

Agradecimientos

Los estudios de campo para este trabajo fueron realizadas en al marco de los siguientes Proyectos: a) MINCyT-ANPCyT-PICT 2006-1311 "Geología y Geofísica de la Laguna Llancanelo, región de Payenia, Mendoza" (orientado a reconstruir las características paleoambientales, paleoclimáticas y paleovolcánicas de ese sector del sur de la Provincia de Mendoza situado a 35º39´S); b) Hoja Geológica Volcán Santa María (3769-03), Plan Nacional de Cartas Geológicas, Dirección de Geología Regional, Servicio Geológico Minero Argentino.

Los autores agradecen a la Dirección de Recursos Naturales de Mendoza por las autorizaciones otorgadas para trabajar en las Áreas Protegidas y Reservas Naturales, y especialmente a los guardaparques de las Delegaciones Llancanelo y Payenia por su invalorable colaboración y soporte logístico.
Los estudios de tefras en laboratorio se llevaron a cabo en el Servicio Geológico Minero Argentino, y particularmente los análisis con microscopio electrónico fueron efectuados en INTEMIN con un Microscopio Electrónico Philips modelo XL30 ESEM y sonda EDAX para análisis químicos semicuantitativos.

Bibliografía

- Abraham, E.M. y Prieto, M.R., 1993. Vulcanismo y procesos de desertificación en el sur de Mendoza. La erupción del Quizapú de 1932 y sus efectos ambientales. Primeras Jornadas Nacionales de Vulcanología, Medio Ambiente y Defensa Civil. Asociación Geológica de Mendoza-Ministerio del Interior-Ministerio de Medio Ambiente de Mendoza-Subsecretaria de Ciencia y Técnica: 45-53.
- González Díaz, E. y Fauqué, L., 1993: Geomorfología de Mendoza. En: Relatorio XII Congreso Geológico Argentino, V. Ramos (Ed.): 19 pp.
- González Ferrán, O., 1993. Principales erupciones volcánicas en los Andes meridionales. Fuentes potenciales de peligros naturales y su impacto en el medio ambiente. Primeras Jornadas Nacionales de Vulcanología, Medio Ambiente y Defensa Civil. Asociación Geológica de Mendoza-Ministerio del Interior-Ministerio de Medio Ambiente de Mendoza-Subsecretaria de Ciencia y Técnica: 11-19.
- Horwell, C.J. 2007. Grain-size analysis of volcanic ash for the rapid assessment of respiratory health hazard. Journal of Environmental Monitoring, 9: 1107-1115.
- Horwell, C.J. y Baxter, P.J. 2006. The respiratory health hazards of volcanic ash: a review for volcanic risk mitigation. Bulletin of Volcanology, 69: 1-24.
- IVHHN –International Volcanic Health Hazard Network, www.ivhhn.org.
- Kittl, E., 1933. Estudio sobre los fenómenos volcánicos y material caído durante la erupción del Grupo del "Descabezado", en el mes de abril de 1932. Anales del Museo Nacional de Historia Natural "Bernardino Rivadavia", Buenos Aires, tomo XXXVII, Mineralogía y Geología, Publ. N° 13: 321-364.
- Miwa, T., Toramaru, A. y Iguchi, M., 2009. Correlations of volcanic ash texture with explosion earthquakes from vulcanian eruptions at Sakurajima volcano, Japan. Journal of Volcanology and Geothermal Research, 184 (3-4): 473-486.
- Smithsonian Institute, Global Volcanism Program, www.volcano.si.edu/world/list.cfm.

VOLCANISMO ACTIVO, TEFROLOGÍA, INTERACCIÓN CON LOS ECOSISTEMAS Y SU IMPACTO EN LA SALUD PÚBLICA. INCIDENCIA DEL VOLCÁN CHAITÉN EN TERRITORIO ARGENTINO

Rovere, Elizabeth (1, 8)
P. Ester Nuñez (1, 2)
Roberto Violante (1, 5)
Mario Rovere (1, 3)
Peter Baxter (11)
Rosendo Benedetti (1, 4)
Thomas Wilson (6)
Carol Stewart (7, 9)
Andrea Romano (8)
Graham Leonard (§)
David Johnston (6)
Shane Cronin (10)

(1) GEVAS Grupo de Estudio de Volcanes Ambiente y Salud. gevasred@gmail.com
(2) Ministerio de Educación de la Nación, provincia de Buenos Aires, Argentina.
(3) El Agora Asoc. Civil. Maestría en Salud Pública Univ. Rosario www.elagora.org.ar
(4) Departamento Zonal Salud Ambiental, Área Programática Esquel. Chubut
(5) Servicio de Hidrografía Naval, Departamento de Geología, República Argentina.
(6) Nat. Hazard Research Centre, Geol. Sci., Univ. of Canterbury, Priv. Bag 4800, Christchurch 8140, N Z .
(7) School of Geography and Environmental Sci., Univ. Auckland, Priv. Bag 92019, Auckland, New Zealand
(8) Servicio Geológico Minero Argentino (SEGEMAR) Dirección de Geología Regional e INTEMIN. Bs.As.
(9) Private Consultant, Brooklyn, Wellington, New Zealand
(§) GNS Science, Avalon, Lower Hutt, New Zealand
(#) GNS Science/Massey University, Avalon, Lower Hutt, New Zealand
(10) Massey University, Palmerston North, New Zealand
(11) University of Cambridge. School of Public Health. U.K. IVHHN

Palabras Claves

- Volcán Chaitén
- Riesgo volcánico
- Cenizas
- Tefras
- Cristobalita
- Salud Pública

Introducción

Las erupciones volcánicas producen importantes impactos en los ecosistemas y la sociedad, muchas veces nocivos. Entre los efectos más significativos están los que inciden sobre la salud, por acción de las cenizas transportadas en el aire que afectan el sistema respiratorio y causan numerosos problemas sociales. En términos de recursos, las cenizas volcánicas pueden producir daños en las fuentes de provisión de agua, suelos, cultivos y animales. También debe considerarse el efecto en las infraestructuras y servicios (maquinarias, instalaciones industriales, aeropuertos, navegación aérea, represas, instalaciones petroleras, etc.).

La erupción riolítica del Volcán Chaitén (sur de Chile) iniciada el 2 de mayo de 2008 y que aún continúa, constituye un "laboratorio natural" para evaluar sus efectos. Las cenizas emanadas se dispersaron en un área de más de 200.000 km2 entre Chile y Argentina y paralelamente se produjeron lahares en los valles y drenajes alrededor del volcán.

Trabajos de campo realizados en el verano de 2009 que abarcaron ambos países, mostraron que las cenizas son principalmente silíceas (cristobalita) con tamaños que varían desde <2,5 µm hasta centenas de micrones (µm). Las cenizas afectan fundamentalmente el territorio argentino por la ocurrencia de vientos prevalecientes del oeste. Esos materiales cegaron arroyos, se mantuvieron en suspensión en fuentes de provisión de aguas limitando su uso, y afectaron la agricultura y ganadería. Mediciones de parámetros de aguas de la región mostraron variaciones en pH, temperatura y turbidez. Se está analizando el efecto de las cenizas caídas con alta temperatura en la flora. Lahares resultantes de la erupción quemaron bosques, además de destruir la ciudad de Chaitén en Chile.

Se han iniciado diversos proyectos de estudio en la región a fin de evaluar los mencionados impactos en la población, particularmente en interacción con la salud pública, infraestructura, aeronavegación y en aspectos sociales. En este trabajo se sintetizan los resultados obtenidos por el Grupo de la Red GEVAS, que visitó la zona afectada tanto en territorio argentino como chileno entre el 23 de enero y el 12 de febrero de 2009, y posteriormente realizó diversas tareas de investigación. Parte de las actividades de campo fueron

llevadas a cabo acompañando a los grupos de la International Volcanic Health Hazard Network (IVHHN) y de la Universidad de Cambridge (ambos de Inglaterra) y de la Universidad de Canterbury (Nueva Zelanda).

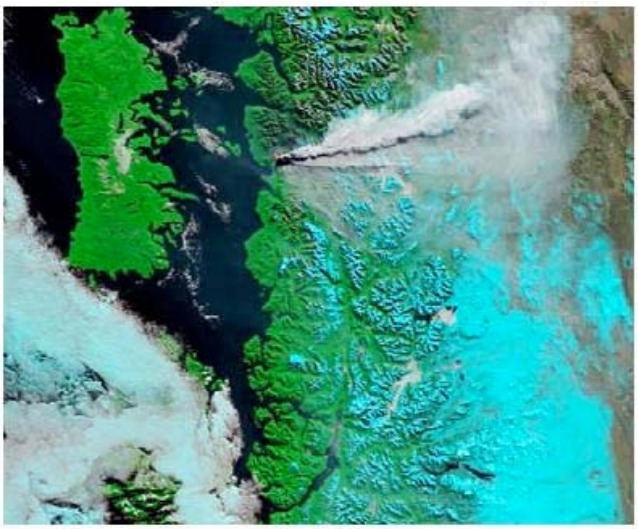


Figura 1. La pluma de cenizas indica la dirección del viento, su dispersión debe ser monitoreada por el Centro de Alertas de Cenizas Volcánicas (VAAC) para la aeronavegación. El area de cobertura es mucho mayor en territorio argentino que en Chile. 30 de Mayo Norte de Chubut y Sur de Rio Negro. Imagen Modis, SMN.

Impactos en la infraestructura

El equipo de la Red GEVAS evaluó los impactos en la infraestructura crítica. Muchas redes y líneas de distribución de energía de alto y bajo voltaje sufrieron daños, tanto por descargas eléctricas como por caídas de árboles, resultando en apagones para algunas comunidades y urgentes programas de reemplazo y limpieza de aisladores. El dique de la Central Eléctrica de Futaleufú (Argentina) recibió fuertes caídas de cenizas aunque ellas no causaron daño inmediato. No obstante, descargas eléctricas inducidas por las cenizas sobre los aisladores de los transformadores interrumpió el suministro de energía eléctrica en el sistema de redes nacionales de Argentina. El suministro de agua municipal en las ciudades de Chaitén y Futaleufú (Chile) y Esquel (Argentina) fue interrumpido por la erupción.

En Futaleufú, la fuente original de provisión de agua de deshielo fue desconectada como medida preventiva, y se desarrolló un sistema de alimentación de agua subterránea. En Esquel, un programa de monitoreo periódico y bien diseñado ayudó a allanar los temores del público sobre la calidad del agua (sabor metálico), el cual quedó solucionado. No obstante se experimentaron otras alteraciones, como los niveles de turbidez de cenizas en suspensión crecientes en el agua de consumo. Con el fin de prevenir infecciones comprometidas, fue necesario incrementar el dosaje de cloro. Además, las campañas de limpieza de residencias produjeron una gran disminución (casi el vaciamiento) de las reservas del suministro de agua de la ciudad.

Las líneas de transporte terrestre sufrieron interrupciones debido a la disminución de la visibilidad, tanto durante las lluvias de cenizas iniciales y como resultado de su posterior removilización por el viento. Algunos puentes fueron dañados o destruidos por lahares, y puentes precarios peatonales se rompieron por el sobrepeso de animales y cenizas durante las lluvias. La mayoría de los sistemas de transmisión electromagnética se mostraron resilientes a la caída de cenizas, al menos en el corto tiempo. También se reportaron problemas cuando las cenizas penetraron en los compartimientos de telecomunicación provocando fallas en los componentes electrónicos, y además sobrecargando las intercomunicaciones locales debido a excesivo tráfico de llamadas.

Figura 2. Viviendas y caminos destruidos por el lahar de mayo del 2008. Ciudad de Chaitén. Fotos Eli Rovere.

Evacuación

Aproximadamente 6000 personas fueron evacuadas en respuesta a la erupción, inicialmente desde las ciudades de Chaitén y Futaleufú. La mayoría de ellas permanecieron sin hogar durante todo el año 2009. Se sintetizan a continuación los resultados de entrevistas de los integrantes de la Red Gevas con personal de emergencias y salud realizados durante la visita a la región.

En el área de Chaitén, los terremotos fueron percibiéndose desde antes del 1 de Mayo, causando auto-evacuaciones en algunos residentes locales. Durante la mañana del 2 de mayo, ni bien se percibió la caída de cenizas, los residentes de áreas remotas fueron evacuados hacia la población de Chaitén. Durante el día, la preocupación de un posible flujo piroclástico alentó la evacuación de miles de personas fuera de la ciudad. Con sólo dos rutas terrestres de salida (caminos de tierra y grava), todas las embarcaciones disponibles se dispusieron en la dársena de Chaitén, las compañías privadas organizaron la logística de los botes a medida que las agencias gubernamentales las coordinaron estratégicamente. Los residentes respondieron favorablemente a la calma, ordenada y rápida evacuación, finalmente completada a la mañana del 3 de Mayo. Muchos tenían expectativas de que este abandono duraría unos pocos días y partieron con sus pocas ropas o efectos personales. No se autorizó la evacuación de posesiones, muebles ni mascotas debido a las restricciones de tiempo y espacio.

La provisión de elementos de ayuda pronto se convirtió en críticamente importante, debido a que los evacuados necesitaban alimentos, hospedaje, dinero, trabajo, comunicaciones y seguridad en el hogar, con estos dos últimos factores enfocados en la reducción del impacto traumático-psicológico. Los residentes fueron conmocionados por imágenes de la destrucción de la ciudad de Chaitén y de sus mascotas abandonadas subsistiendo en estado salvaje, de manera que el manejo de los medios pasó a jugar un papel muy importante. El bienestar de las mascotas y el ganado de las chacras surgió como un objetivo psicosocial mayor. Inicialmente, el acceso a la ciudad de Chaitén fue prohibido al público. Algunos residentes tenían profundos deseos de volver, y se organizaron viajes para la recolección de posesiones personales. El desarrollo continuo del bienestar de los evacuados ha sido una dura responsabilidad en todo el personal de emergencias entrevistado. Una legislación de la Corte Suprema determinó inconstitucional la zona de exclusión, pero el reestablecimiento de poblaciones fue oficialmente desalentado. Debido al creciente riesgo de flujos piroclásticos, un sitio cercano fue seleccionado para la relocalización de la ciudad de Chaitén.

En Futaleufú, la evacuación temporaria ocurrió alrededor del 6 de Mayo, en respuesta al espesor acumulado de cenizas y a las preocupaciones sanitarias, sumado a la incertidumbre sobre la duración y la continuidad del evento volcánico. Discusiones sobre la evacuación relacionada a los temas de salud también ocurrieron en Esquel, ubicada “lejos” del volcán en erupción, viento-abajo en Argentina.

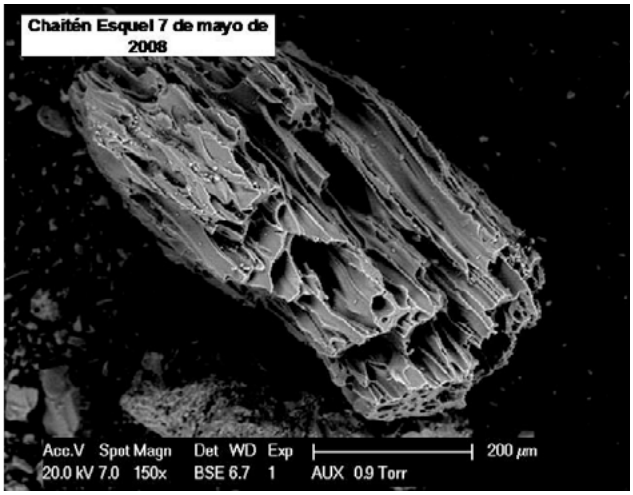
Figura 3. Pobladores reclamando la reconstrucción de Chaitén. El abandono de mascotas fue uno de los ejes del conflicto psicosocial. Fotos Diario El Mercurio y Eli Rovere.

Cenizas

A partir de estudios microscópicos de la ceniza producida por la erupción, se determinó que un 30% de ellas presentan un tamaño inferior a los 15 µm, un 23% es <10 µm, mientras que partículas de fracciones menores a 4 µm representan un 12% de la muestra. Los análisis confirmaron además la presencia del polimorfo de sílice Cristobalita, sílice cristalina en la fracción más fina de las cenizas (PM2,5). Según Forbes et al (2003) y Horwell (2007), largos períodos de inhalación de estas micropartículas pueden provocar diversos trastornos en la salud; aquellas con diámetro menor a 2,5 micrones son directamente incorporadas a los alvéolos pulmonares, y el organismo humano no activa los mecanismos de defensa respiratoria.

Horwell et al. (2009) analizaron recientemente valores alarmantes sobre el contenido de las cenizas. La exposición prolongada e intensa a partículas de cenizas volcánicas cristalinas respirables ricas en sílice, podría causar potenciales enfermedades crónicas y fibróticas, tales como silicosis, en individuos que residen en áreas con frecuentes caídas o lluvias de cenizas. La ceniza riolítica erupcionada desde el volcán Chaitén en su fase de formación de domo contiene crecientes niveles de cristobalita, en comparación a la composición durante la fase inicial de erupción pliniana, explosiva (2 Mayo 2008), que contenía aproximadamente 2 % (en peso) de critobalita. La ceniza generada después del comienzo del

crecimiento del domo (a partir de fines de Mayo de 2008) contiene entre 13–19 % en peso. En este trabajo se sugiere que los domos de obsidianas activos cristalizan sustanciales cantidades de cristobalita en escalas temporales de días a meses, probablemente a través de la cristalización de la fase-vapor sobre las paredes de los conductos de degasificación, más que a través del crecimiento esferulítico en obsidiana vítrea. La ceniza es de grano fino (9.7–17.7 % en volumen) y <4 µm de diámetro (el rango respirable) y las partículas son mayormente angulares. Se ha confirmado que partículas dispersas que se presentan como "fibras" son de feldespato o vidrio.



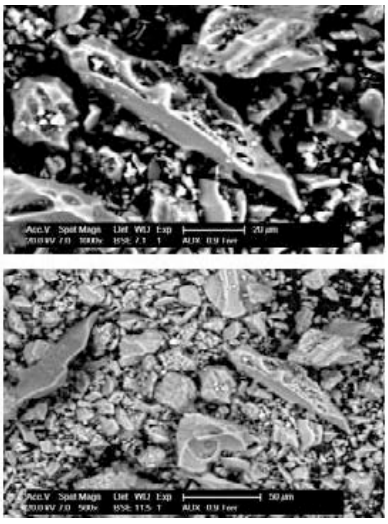


Figura 4. Trizas vítreas del volcán Chaitén. izq. 7 de mayo del 2008, der. 19 de febrero 2009. Microfotografías Andrea Romano. INTEMIN

Las características mineralógicas y geoquímicas de un conjunto de muestras de cenizas volcánicas del Chaitén fueron determinadas para establecer el potencial peligro en la salud relacionado con los problemas respiratorios.

Los resultados claves son los siguientes:

Los análisis de composición total (RX) de las muestras mostraron que estas son riolíticas (porcentaje en peso de cuarzo: 72.5-74.4).

Los análisis de tamaño granulométrico encontraron que las partículas son de grano fino, con características similares a las del Volcán Soufriere Hills (Montserrat), el Mt. St. Helens (USA) y el Merapi (Indonesia). La cantidad de partículas respirables (< 4 µm) varió de 8.8-11.9 % en volumen.

Morfología – las partículas de ceniza son angulosas, estando compuestas de cristales fragmentados y vidrio. No es posible distinguir la composición mineralógica por las observaciones de la morfología de las partículas.

Sílice cristalina – el contenido de cristobalita varía entre 2.2-7.4 % en peso con las cantidades mayores observadas en la ceniza depositada en Ing. Jacobaci. Esto se compara con el 15-17% en peso de cristobalita del Volcán Soufriere Hills, Montserrat, que produce abundante cristobalita en su domo. Las cantidades de cuarzo varían entre 0.5-1.9 % en peso y no se observó tridimita.

Área superficial – el área superficial de las partículas es baja, variando de 0.6-1.3 m2g-1, el cual es coincidente con análisis de otros volcanes.

Reactividad de superficie – todas las muestras generaron radicales hydroxyl (a través de una reacción hierro-catalizado que puede ser potencialmente cancerígeno y un factor inflamatorio de los pulmones). Las muestras generaron entre 0.3-0.9 µmol m-2 de radicales hydroxyl después de 30 minutos de reacción, lo cual está en el límite inferior del rango obtenido previamente para otras muestras de cenizas volcánicas.

Liberación de hierro – las muestras del Chaitén liberaron bajas cantidades de hierro (una medida del hierro disponible para reacciones de superficie (11.5-30.5 µmol m-2 después de 7 días de incubación). Estos resultados concuerdan con la composición magmática riolítica (alto contenido de sílice, bajo de hierro) de las muestras.

Análisis de aguas

Stewart et al. (2009) realizaron estudios de suelos y aguas tomadas de diversos cuerpos de agua (Figura 6), el equipo argentino de GEVAS realizo una interpretación de algunos resultados en función de sus propiedades y de su ubicación regional. Los sitios fueron elegidos en a) embalses alrededor del volcán; b) ríos y lagos mayores de la región (Lago Yelcho, Espolón y Futaleufquen, y río Futaleufu/río Grande); c) algunos de los pequeños lagos y ríos; d) fuentes de provisión de agua de Futaleufú; e) algunos cuerpos de agua de zonas

más distales al volcán. En esos sitios se midieron diversos parámetros para obtener algunas propiedades básicas como pH, conductividad, temperatura y turbidez.

Figura 5. Medición de parámetros de agua en el terreno. Ubicación de muestras de aguas (Imagen Google).

El **pH** es neutro o casi neutro con leve tendencia a la acidez (valores no menores a 5.4), excepto algunas muestras en las cercanías de Bariloche y Futaleufú que son ligeramente básicas (pH no mayor a 8.9). Dos excepciones de aguas extremadamente ácidas (pH <3) corresponden a muestras de dos tanques artificiales que contenían agua de lluvia con abundante ceniza (probablemente caída de los techos). Los valores encontrados permiten interpretar que las aguas naturales corrientes tienen pH cercano al neutro, mientras que las aguas estancadas conteniendo cenizas son muy ácidas. Pueden inferirse procesos de acidificación por cenizas probablemente con componentes de lluvia ácida en aguas no circulantes (tanques de agua, bebederos de animales, charcos y pequeñas lagunas sin desagüe, etc.). Las muestras en los alrededores del volcán (zona amarilla en Figura 6) tienden a pH más ácido que en las zonas más alejadas.

El análisis preliminar de esas mediciones revela las siguientes conclusiones:
La **conductividad** es muy variable, con extremos entre 26.3 y 335. No parece haber un patrón de tendencia. Podría ser dependiente de variables locales en la salinidad de las aguas, tal vez resultantes de la calidad y tipos de rocas y suelos.

La **temperatura** del agua varía entre 6 y 24ºC. Las temperaturas menores (<11.5ºC) se midieron en algunos puntos alrededor del Volcán Michimahuida. Probablemente se evidencie el predominio de aguas de deshielo. Una de las mayores temperaturas (21.2ºC) se midió en el puente de la localidad de Chaitén, mientras que el Aº Esquel tiene temperaturas bajas, <10.5ºC.

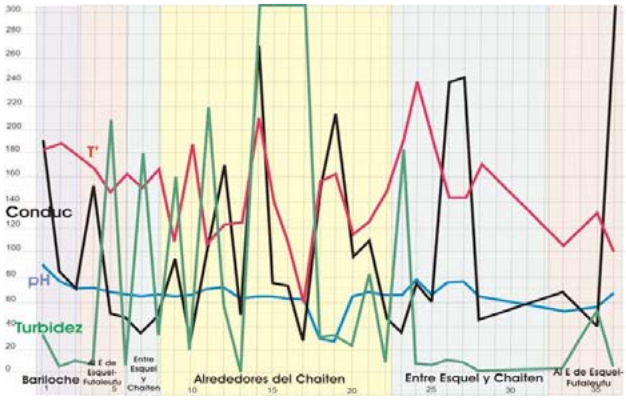


Figura 6. Variabilidad regional de los parámetros de agua medidos.

La **turbidez (NTU)** varía entre extremos grandes: 0 y 350. Hay 4 muestras que muestran los valores más altos (>117), todas ellas inmediatamente al sur de los volcanes Chaitén-Michimahuida, en los ríos Chaitén, Blanco, Amarillo y Michinmahuida. Seguramente se está viendo aquí la influencia de las cenizas, aunque también se infiere que esos ríos deben tener alta dinámica para poder mantener la ceniza en suspensión y enturbiar el agua. En cambio, sitios con alta concentración de cenizas pero con aguas más estancadas muestran turbidez muy baja (ejemplo en los tanques, donde la ceniza está depositada en el fondo). Salvo los 4 sitios mencionados, el resto tiene turbidez baja (<22), aunque con los picos más altos también en la zona de influencia cercana del volcán.

Tomando todos los parámetros en su conjunto, no parece haber relación directa entre ellos. Puede concluirse preliminarmente que las caídas de cenizas no necesariamente afectan a la totalidad de los parámetros del agua sino que éstos pueden variar en función de las concentraciones y calidades de cenizas, dependiendo también seguramente de variables climáticas, deshielos, hidrodinámica de los cuerpos de agua, calidad de suelos, etc.

Salud

Las cenizas del Chaitén son suficientemente finas para tener el potencial de producir ataques de asma en personas susceptibles, y agravar los síntomas respiratorios en gente con problemas pulmonares crónicos. Todas las personas deberían usar máscaras en situaciones donde la exposición a la ceniza sea alta, ejemplo, en días secos y ventosos y donde el tránsito pesado o actividades tales como remoción de cenizas pueda crear polvo en el aire.

En términos de salud pública, el potencial para el desarrollo de problemas respiratorios largos depende principalmente de la cantidad de sílice cristalina en la ceniza y la proporción de ceniza que puede ser fácilmente respirada y penetrar en las partes más profundas de los pulmones. Teniendo en cuenta estos resultados y la experiencia adquirida de otros volcanes en los últimos 25 años, en el caso de la erupción del Chaitén el riesgo en la salud es alto si la actividad eruptiva es frecuente con repetidas exposiciones de la población a altos niveles de cenizas de mucha duración. En este caso, el monitoreo cuidadoso (Figura 7) de la exposición y composición de la ceniza es requerido para realizar una completa evaluación del riesgo.

Figura 7. Monitores de partículas sólidas y cenizas volcánicas. Región de Palena, Futaleufú. Chile. El uso de barbijos es esencial cuando los monitores indican valores de partículas en suspensión, aun siendo invisibles, son respirables. Fotografía Thomas Wilson.

Aeronavegación

Las nubes o plumas de cenizas eruptadas por los volcanes son un peligro inminente para la aeronavegación, la Organización Internacional de Aviación Civil (OACI) y el Centro de Avisos de Cenizas Volcánicas (VAAC) con Sede en Buenos Aires son los organismos encargados de alertar a todos los aeropuertos de América Latina y el Caribe para modificar las rutas de vuelo en caso de detectarse el desplazamiento de una nube de cenizas. Para que el alerta sea notificada velozmente debe haber una tarea coordinada por la Autoridad Meteorológica, los Usuarios Aeronauticos, la Autoridad Aeronáutica y la Autoridad Vulcanológica.

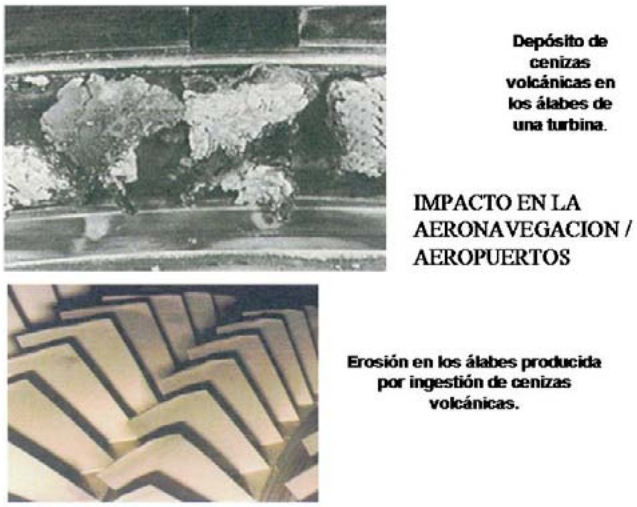


Figura 8. Son numerosos los daños que producen las cenizas volcánicas en los aviones y las dificultades que produce en los aeropuertos para el despegue y aterrizaje. Los radares no pueden detectar una pluma de cenizas. La erosión en los alabes de las turbinas puede producir la caída de la nave. Fotografías Gustavo Flores.

Proyecto pedagógico

En el marco del trabajo de investigación realizado con motivo de la erupción, durante el relevamiento realizado por GEVAS (red y Grupo de Estudio de Volcanes Ambiente y Salud) se visitaron escuelas rurales de la zona de Esquel y alrededores (Figuras 9 y 10, áreas bastante afectadas por la caída de cenizas), con el objeto de recabar información sobre el tratamiento pedagógico llevado a cabo ante la emergencia.

A partir del diagnóstico realizado y teniendo en cuenta que es muy importante que la población reciba información precisa de los fenómenos volcánicos y las medidas de prevención, surge la necesidad de establecer metodologías didácticas que permitan la enseñanza y aprendizaje de temáticas vinculadas a los procesos volcánicos, contemplando el tratamiento de contenidos que incluyan conceptos sobre peligros volcánicos, su impacto en el ambiente y medidas de mitigación de riesgos.

Figura 9. Escuela Rural N° 107. Nahuel Pan. Pcia. de Chubut. Rep. Argentina. Foto Ester Nuñez

Uno de los proyectos que se encuentran en preparación es la creación de una propuesta pedagógica que incluye sugerencias de enseñanza/aprendizaje con actividades destinadas a alumnos de nivel primario, secundario y terciario.

Escuela Rural N° 25. Villa Futalaufquen. Pcia. de Chubut.

Figura 10. Escuela Rural N° 25. Villa Futalaufquen. Pcia. de Chubut.Rep. Argentina. Foto Ester Nuñez.

Bibliografía

- A Horwell, C.J., Le Blond JS, Michnowicz SAK, Cressey G., 2009. Cristobalite in a rhyolitic lava dome: evolution of ash hazard. Bulletin of Volcanology. Short Communication. In Press. DOI is 10.1007/s00445-009-0327-1.
- Leonard, G.S., Wilson, T.M., Stewart, C., Johnston, D.M., E. Rovere, 2009. Emergency management, evacuation, welfare and recovery following the 2 May 2008 eruption of Volcan Chaitén, Chile. GSA Portland.
- Rovere, E., 2009. Riesgos ambientales y Salud. Notas de un viaje a la región del Chaitén. Revista Posibles N° 3, Págs. 52-59. Asociación Civil El Agora. ISSN 1852-107X
- Stewart, C., L. Pizzolon, T. Wilson, G. Leonard, D. Dewar, David Johnston & S. Cronin, 2009. Can volcanic ash poison water supplies?. Integrated Environmental Assessment and Management, pg(s) 713-716. Society of Environmental Toxicology and Chemistry.
- Wilson, T., G. Leonard, C. Stewart, G. Villarosa, E. Rovere, P. Baxter, L. Pizzolon, D. Johnston, S. Cronin, 2009. Impacts on critical infrastructure following the May 2008 Chaitén eruption in Patagonia. GSA, Portland.
- IVHHN, Durham University. C. Horwell, Watts, P Baxter. www.ivhhn.org.uk
- Cronin, S. J., V. E. Neall, J. A. Lecointre, M. J. Hedley, and P. Loganathan. 2003. Environmental hazards of fluoride in volcanic ash: a case study from Ruapehu volcano, New Zealand. J Volcanol Geotherm Res 121:271–291.
- Horwell, C. J. and P. J. Baxter. 2006. The respiratory health hazards of volcanic ash: A review for volcanic risk mitigation. Bull Volcanol 69:1–24.
- Johnston, D. M., B. F. Houghton, V. E. Neall, K. R. Ronan, and D. Paton. 2000. Impacts of the 1945 and 1995–1996 Ruapehu eruptions, New Zealand: An example of increasing societal vulnerability. Geol Soc Am Bull 112:720–726.
- Pizzolon, L., S. Arrechea, and A. Curaqueo. 2008. Evaluatión de los riesgos de alteración de la calidad del agua por las cenizas del Volcan Chaitén. Observatorio del Agua, Universidad Nacional de al Patagonia SJB. Informe Técnico Nro. 2/08.
- Stewart, C., D. M. Johnston, G. Leonard, C. J. Horwell, T. Thordarsson, and S. Cronin. 2006. Contamination of water supplies by volcanic ashfall: A literature review and simple impact model. J Volcanol Geotherm Res 158:296–306.
- Witham, C. 2005. Volcanic disasters and incidents: A new database. J Volcanol Geotherm Res 148:191–233.
- Witham, C. S., C. Oppenheimer, and C. J. Horwell. 2005. Volcanic ash-leachates: A review and recommendations for sampling methods. J Volcanol Geotherm Res 141:299–326.

INDICIOS DE LA PRESENCIA DE PERMAFROST DE MONTAÑA EN EL NO DEL CHUBUT, ARGENTINA

Ruiz, L. E (1)
Trombotto D. (1)
Hernández J. M. (1)
(1) Unidad de Geocriología, IANIGLA, CCT CONICET Mendoza.
CC 330, 5500 Mendoza, Argentina. lruiz@mendoza-conicet.gov.ar

Introducción

El permafrost andino es conocido por su importancia como reserva y recurso hidrológico (Corte, 1976; Trombotto et al., 1999; etc.), así mismo, como parte de la críosfera es sumamente sensible frente a los cambios de temperaturas regionales o globales que se están registrando y que generan cambios ambientales y catástrofes naturales. El estudio de las evidencias criogénicas actuales y fósiles en varias zonas del globo es imprescindible para entender la evolución de los ambientes criogénicos, tanto, dentro del contexto del calentamiento global como desde un punto de vista ecológico. En la zona cordillerana del NW del Chubut ya existen evidencias de la presencia de permafrost de montaña actual y fósil (Trombotto 2000; Martinez 2002).

Debido al desconocimiento general que existe en actualidad de los procesos criogénicos que acontecieron en la Patagonia durante las glaciaciones cuaternarias (Trombotto, 2000, 2002, 2008), no se reconoce la importancia que tiene una correcta identificación de formas criogénicas fósiles para dar una idea mas acabada del paleoclima y de los ambientes pasados en la Patagonia.

Objetivos

En este trabajo se presentan los primeros resultados de investigaciones actualmente en curso con la intención de caracterizar el ambiente periglacial actual y fósil en el noroeste de Chubut. Estos trabajos son parte de la tesis doctoral de L. Ruiz y del proyecto PIP 2009-2012 (Ambiente Periglacial Actual y Pasado del NW de Chubut, D. Trombotto).

El trabajo está diagramado de la siguiente manera. Primero se presenta una breve caracterización del área de estudio y de los trabajos realizados por otros investigadores con respecto al ambiente periglacial en la Patagonia en general. Luego, un resumen de las características principales de los glaciares de escombros, las geoformas más importantes relacionadas con el permafrost de montaña (Barsch, 1996), y como reconocerlas en la actualidad y en el registro geológico. Para dar paso después, al objetivo principal de este trabajo, el reconocimiento y caracterización del ambiente periglacial en el Cordón Rivadavia al NW de la provincia de Chubut, realizado en base a información de sensores remotos y trabajos de campo. Haciendo hincapié en las rasgos que permiten reconocer las diferentes geoformas y en las características morfométricas de las zonas donde se desarrollan. Por último se realiza un análisis de las condiciones paleoclimáticas que se pueden inferir a partir de la presencia de glaciares de escombros fósiles en el Cordón Rivadavia.

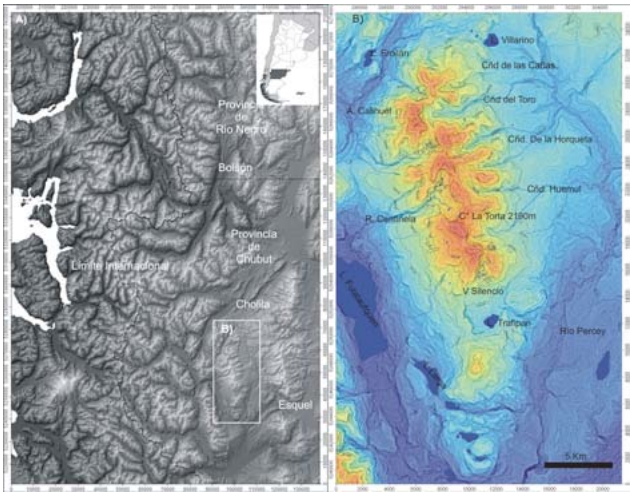


Figura 1. A) ubicación del Cordón Rivadavia en la Provincia del Chubut. B) Mapa topográfico del Cordón Rivadavia. Se indican los cerros, valles, ríos y lagos principales, coordenadas UTM -19 WGS84.

El Cordón Rivadavia

El cordón Rivadavia (Figura 1) tiene una orientación N-S, con una extensión de 30 km N-S, 10 km O-E y una altura máxima de 2190 msnm (Cerro de la Torta). Se encuentra en una posición intermedia entre la Cordillera principal (limite Argentina-Chile) y la región Precordillerana (Cordón Esquel-Leleque), entre la región de valles ocupados por grandes lagos y la región de estepa. Está compuesto por rocas volcánicas meso-silícicas a acidas, asociadas a la Formación Ventana (Oligoceno) (Giacossa y Heredia 2001). En la ladera occidental del Cordón el treeline tiene una altura máxima de 1610 msnm y una promedio de 1490 msnm, por su parte en la

ladera oriental tiene una altura máxima de 1580 msnm y una promedio de 1480 msnm. Este gradiente de 0.003-0.004 en la altura del treeline se relaciona a una disminución en la precipitación.

Hoy en día en el cordón no existen glaciares, tampoco se observan evidencias de la acción de los glaciares como agente geomórficos (circos, aretes, superficies abrasionadas, morenas latero-frontales, etc). Las únicas evidencias de erosión glaciar estan por debajo de los 1100 metros y se asocian a lenguas glaciarias pleistocenicas (Ruiz, datos no publicados).

Antecedentes

Desde un punto de vista paleoclimático, las primeras observaciones periglaciales regionales fueron hechas por Groeber (1950) y Auer (1956, 1970), a veces relacionadas con centros hipotéticos de englazamientos. Es, sin embargo, Czajka en 1955, el que introduce el primer límite del permafrost pleistocénico basado en estructuras sedimentarias criogénicas de la Patagonia y por lo tanto, define por primera vez una región periglacial pleistocénica de tal naturaleza en Sudamérica.

Corte (1968) describe formas periglaciales en las cercanías de Río Gallegos. Liss (1969) observa las estructuras relacionadas con paleopermafrost en la región de Puerto Madryn y Haller (1981) menciona también estas estructuras periglaciales nordpatagonicas en la hoja geológica 43h-Puerto Madryn. A partir de los años 80 los pseudomorfos de Puerto Madryn son estudiados en numerosos trabajos: Corte y Beltramone, 1984; Del Valle y Beltramone, 1987, Vogt y Del Valle, 1994; Vogt, 1992, etc. Muchos temas de la geocriología de Patagonia fueron analizados por separado por Arturo Corte y tratados en su libro, Geocriología, que escrito en los años 80, apareció en Mendoza recién en 1997. Este mismo autor ya había establecido un primer intento de climatoestratigrafía patagónica en 1991 (Corte, 1991). En 1993 Clapperton sumarizá el paleoperiglacial patagónico y sus características en su libro Quaternary Geology and Geomorphology of South America presentado en el simposio The Quaternary of Chile en Santiago de Chile.

Muy cercano a la región de estudio de este proyecto, en el NW del Chubut, Martínez (2002) encuentra formas periglaciales fósiles. Estas formas son nichos de nivación y "protalus ramparts" que se ubican por encima de los 1350 m de altura, el cual a su vez señala como límite inferior paleocriogénico. Trombotto (2002, 2008, etc.) basado en la estratigrafía cuaternaria de la estepa patagónica, dataciones relativas y dataciones absolutas, separó los indicadores de paleo-permafrost patagónico en dos grandes episodios. Los relacionados a la Última Glaciación y los relacionados con la Greatest Patagonian Glaciation de Mercer (1976). Sin embargo, algunas evidencias pueden relacionarse con otros criómeros, como el nivel solifluidal de Holdich-Pampa del castillo que fue asociado al criómero de 14-15 ka de Mercer y Ager (1983) por Trombotto & Stein, (1993) y Schäbitz et al., (1999).

Con respecto al periglacial actual, Garleff y Stingl (Garleff, 1977; Garleff & Stingl, 1986, 1988, etc.) distinguen, en una abundante bibliografía en alemán, fenómenos periglaciales actuales en los Andes Australes estableciendo transectas a lo largo de todo la Cordillera de los Andes, desde las máximas alturas hasta la estepa. Estos autores remarcan que los fenómenos periglaciales y la presencia del permafrost andino-patagónico dependen fundamentalmente de la temperatura como criofactor generador más importante.

Con respecto al ambiente criogénico actual, de acuerdo a mediciones de temperaturas con perforaciones superficiales y al levantamiento geomorfológico llevado a cabo por Trombotto (2000, 2002), se puede esperar la presencia de permafrost en la región de los Andes Patagónicos por sobre los 2000 m sobre el nivel del mar. Garleff, (1977), reconoció diversas microformas criogénicas actuales en los Andes Asutrales; pendientes sedimentarias criogénicas, terrazas o lóbulos de solifluxión con frentes rocosos, suelos estructurados, guirnaldas > 50 cm y krummholz. Sacando la presencia de crioplanicies, con participación de criogénesis en su formación, mesoformas, como glaciares de escombros, no han sido descubiertas en los Andes de la Comarca Andina. Trombotto (2000) señala que a la latitud del Lago Vintter existen hallazgos de permafrost a 2060 m de altura, también existen señales de permafrost en el Cordón de las Agujas, Chubut (Trombotto, 2008).

Existen todavía muchos interrogantes para ser resueltos sobre el ambiente periglacial actual. En el noroeste de Chubut y resto de la Patagonia norte no existe un límite claro de las áreas con permafrost actual, por lo cual este ambiente queda delimitado solo regionalmente. Así mismo, tampoco existen límites precisos del ambiente de paleopermafrost, en este trabajo se presentan datos que permiten arrojar un poco de luz sobre estas cuestiones.

Glaciares de escombros

Son los rasgos geomorfológicos más característicos de la presencia de permafrost en las áreas montañosas (Haeberli, 1985; Barsch, 1996). Numerosos estudios indican que los glaciares de escombros están asociados a condiciones de temperatura, precipitación e insolación características. De esta manera la identificación de glaciares de escombros fósiles adquiere una importancia relevante para caracterizar

el paleoclima de una región. En esta sección se presenta una breve discusión de las características de estas geoformas y como identificaros en el registro geológico y geomorfológico Cuaternario.

Los glaciares de escombros activos son la expresión geomorfológica del permafrost de montaña reptante (Barsch, 1996). Están compuestos por una mezcla de detritos y hielo, que se mueven pendiente abajo mientras se deforma (Haeberli, 1985; Trombotto y Ahumada, 2005, entre otros). Desarrollan forma de lóbulo o lengua, con una pendiente frontal muy pronunciada 35-45º y topografía irregular con crestas y surcos que expresan tanto la dinámica del movimiento como los procesos internos. Pueden tener un diseños en planta simples, formados por un solo lóbulo o complejas, formadas por la superposición de lóbulos. Estas superposiciones de formas están asociadas a irregularidades estructurales basales, diferencias de velocidad de los lóbulos o diferentes tiempos de actividad (Trombotto y Ahumada, 2005). Los glaciares de escombros que no presenta movimiento pendiente abajo, pero que todavía contiene hielo se llaman inactivos, y la acumulación de sedimentos que se mantiene luego del que permafrost se ha derretido se conoce como glaciares de escombros fósiles (Haeberli, 1985; Barsch, 1996). Si bien la actividad de una glaciar de escombros tiene que ser confirmada mediante medidas geodésicas y/o la confirmación de la presencia de permafrost, existen algunas características morfológicas que permiten inferirla visualmente (Haeberli, 1985; Trombotto, 1991; Barsch, 1996; Ikeda y Matsuoka, 2002).

Los glaciares activos tiene una pendiente frontal de >35º libre de vegetación, con una cobertura de bloques inestables en superficie. Los inactivos tienen una pendiente frontal más tendida y presenta cobertura vegetal en el frente. También pueden tener conos de detritos al pie de la pendiente frontal y bloque estables en su superficie superior. Por otro lado, los fósiles si bien mantiene en forma general su morfología, tiene una topografía más redondeada debido al colapso por fusión del permafrost y la vegetación cubre tanto la pendiente frontal como la superficie superior (Haeberli, 1985; Ikeda y Matsuoka, 2002; Brenning, 2005).

Trombotto (1991) menciona las características geomorfológicas y sedimentológicos que permiten reconocer los glaciares de escombros fósiles.

- Rastros de circos y excavación en la montaña, en donde se produjo la criometeorización.
- Huellas de canaletas nivodetriticas, zonas de transporte del material criometeorizados, que a veces cortan el circo.
- Forma final relíctica lobulada, de lengua colgada en la pendiente o después del corte de pendiente, con una depresión post-frontal.
- Crestas laterales, “Haldenschutt”, dejadas por zonas de transporte sedimentario centrales con más movimiento
- Ubicación de las geoformas con orientación sur.
- Bloques y clastos angulosos en superficie y finos en el interior.
- Selección vertical de sedimentos en el frente.
- Bloques y clastos pueden estar orientados con el eje mayor pendiente abajo, también pueden tener una disposición caótica debido una intensa crioturbación y mezcla sub-superficial.
- Composición petrográfica mono-genética en los de talus y poli-genética en los glacigénicos.

Ikeda y Matsuoka (2002) presentan los procesos más importantes en la degradación de los glaciares de escombros, según estudios realizados en los Alpes suizos.

- Fusión del permafrost rico en hielo, genera la subsidencia del glaciar de escombros. Como resultado el perfil transversal convexo es remplazado por un plano a cóncavo dependiendo de la cantidad de hielo original
- Decaimiento en el reptaje de permafrost, genera la declinación de la pendiente frontal desde 40° para los activos a 35° (ángulo de reposo) para los inactivos.
- Desarrollo de suelos, que afectan las condiciones termales y la movilidad del material superficial. El desarrollo de suelo rellena la fabrica abierta de los glaciares de escombros e inhibe la penetración del aire frío. Por otro lado el material superficial se vuelve susceptible a la solifluxión y los flujos de detritos. Estos procesos redondean los bordes y declina aún más la pendiente frontal.

Metodología

Mapeo geomorfológico

Desde un punto de vista teórico cada geoforma tiene una morfología, tamaño, composición/estructura interna, ubicación y génesis que permiten diferenciarla de otras geoformas o elementos del paisaje. Sin embargo, es común la presencia de geoformas transicionales así como de procesos diferentes que generan formas con características similares.

En este trabajo se diferencian a las geoformas en base a las características reconocibles en imágenes satelitales de alta resolución (SPOT) y fotografías aéreas, con ayuda de trabajos y fotografías en el terreno. La corroboración de campo, hasta el momento, se ha realizado solo en un sector del Cordón Rivadavia, el Valle del Silencio.

Los caracteres utilizados en la interpretación de las imágenes, son principalmente cambios de pendientes, la continuidad lateral de estos cambios, la forma en planta que tenga los mismos y la composición del material. La metodología para la

realización del mapa consta de varias etapas. La identificación y mapeo de se realizó con la ayuda de software de información geográfica (OPEN FW, SAGA 2.0 y Google Earth).

1- Identificación de los cambios de pendientes
Los cambios de pendientes señalados corresponde a los de geoformas de pequeña y mediana escala (metros a cientos de metros), cabe resaltar que para la caracterización de las pendientes de laderas de varios kilómetros fueron utilizados modelos digitales de elevación. Gracias a la visión estereoscópica de las fotografías aéreas es posible reconocer los cambios de pendientes menores, asociados a las geoformas relacionadas con procesos, como la remoción en masa o la actividad periglacial. En las imágenes satelitales de alta resolución, se utilizaron rasgos indicadores de cambios de pendientes como por ejemplo; acumulación de nieve en pendientes cóncava o divergencia de flujo en pendientes convexas.
Los cambios de pendiente fueron señalados mediante líneas de igual cambio de pendiente (curvatura).

2- Clasificación primaria
Las diferentes líneas fueron clasificadas por tamaño y forma, (recta, lobular, sinuosa, compleja o compuesta).

3- Clasificación genética
En base a las características de los cambios de pendiente identificados, su diseño en planta, posición en las laderas, composición y/o cobertura (detrítica o vegetal), distribución espacial y otras características diagnosticas reconocidas en el campo, se realizo una clasificación genética, comparando las características señaladas con las mencionadas en la bibliografía especializada (Washburn, 1979; Haeberli, 1985; Corte, 1991; Ikeda y Matsuoka, 2002; Trombotto y Ahumada, 2005, entre otros). Esta clasificación solo ha sido corroborada con trabajos de campo en el valle del Silencio, es por ellos que la discusión se centra en las geoformas reconocidas en este valle.

4- Caracterización morfométrica de las zonas donde se desarrollan las diferentes geoformas
A partir del análisis del modelo Digital de Elevación ASTER GDEM con la ayuda de software de sistemas de información geográfica (SAGA 2.0) se obtuvieron diferentes parámetros morfométricos (altura, pendiente, orientación y curvatura), que ayudan a caracterizar las zonas donde se encuentran las diferentes geoformas. Debido a la resolución espacial del modelo (30m), no es posible caracterizar las geoformas individuales solo las regiones o pendientes donde se desarrollan.

5- Confección del mapa y análisis de los resultados
Para la confección de mapas se utilizó el software SAGA 2.0. A cada tipo de geoforma, conjunto de polilíneas identificado, se les asigno una clase (color). Cada una de las líneas corresponde al cambio de pendiente que caracteriza la geoforma, en general para los lóbulos y terrazas de solifluxión así como los glaciares de escombros fósil y protalus rampart esta indicados por la pendiente frontal. Para la realización del mapa final se agregaron las curvas de nivel derivadas del DEM, a su vez se aplica como cortina el modelo digital de curvatura el cual permite una mejor visualización de los rasgos y pendientes del terreno asociados a diferentes orientaciones. Para una mejor interpretación de los parámetros morfométricos asociados a los diferentes tipos de geoformas se confeccionaron histogramas y gráficos de dispersión.

Resultados

Geoformas Periglaciales reconocidas
Microformas (rasgos menores a 100m de largo)

Suelos estructurados
Se forman por una combinación de procesos en donde intervienen el levantamiento por hielo acicular, selección vertica y horizontal, reptación del suelo, deshidratación y contracción térmica, por la acción de congelamiento y descongelamiento. Existen una gran diversidad de formas y tamaños. Washburn (1979) clasifica los estructurados en redes, bandas, círculos y polígonos. Si bien pueden alcanzar un tamaño considerable como para ser reconocidos en imágenes satelitales de alta resolución o en fotografías aéreas. Hasta el momento en el área de estudio solo han sido reconocidos en el terreno asociados a zonas cuspidales y es muy probable que sean inactivos (presencia de vegetación) (Figura 2 A, B, C y D).

Lóbulos y terrazas de solifluxión
Se presentan como una protuberancia o lengua identificable y adosada a la pendiente. Pueden tener superficies aterrazadas, frentes rocosos y estar combinados con grietas de circulación de agua de descongelamiento. Presentan una selección vertical y predominancia de sedimentos finos en la parte aterrazada (Figura 3B yC). En general no tienen una orientación preferencial, se los observa desde el límite superior del treeline hasta las zonas cuspidales en pendientes entre 10° y 30°. También se han reconocido zonas con guirnaldas de solifluxión. Terrazas cuyos frentes están contenidos o demarcados por vegetación. Estas se encuentran en pendientes calidas (orientación N-NE) cercanas a la cota del treeline (Figura 3B). En las laderas calidas se observan canaletas de avalanchas y lóbulos de flujos de detritos que cortan los lóbulos de solifluxión, lo cual podría estar indicando la inactividad de los mismo o la transición a condiciones paraperiglaciales (Ballantyne, 2002) (Figura 3 A y D).

Mesoformas (rasgos mayores a 100m de largo)

Conos de talud, talus o abanicos coluviales

En general tienen forma de cono o abanico y se encuentran adosados a las laderas de montaña y su pie (Figura 4A). Se desarrollan principalmente en laderas frías entre los 1400 y 1900 msnm, asociados a las canaletas de avalancha, manchones de nieve y flujos de detritos (Figura 4B y 4C). Tienen pendientes entre 35°-45° en el ápice y 10-20° en el pie. Están compuestos por bloques y gravas muy angulares, en general los tamaños de grano más gruesos se encuentran en el pie (Figura 4 D).

Canaletas de avalanchas

Formas erosivas formadas por el paso de avalanchas nivo-detricas, también pueden formarse por flujos de detritos de baja viscosidad o flujos de agua, en estos casos es común la presencia de albardones a ambos lados de la canaleta. Están asociadas a talus y/o lóbulos de flujos de detritos/lóbulos de flujos de nieve (Figura 3A, 3B, 4C, 5A y B).

Protalus y Protalus rampart

Cresta, o serie de cresta o rampa de detritos formada pendiente abajo de un manchón de nieve perenne o semi-permanente. En planta tiene forma curva, sinuosa o compleja. Son geoformas difícil de caracterizar, en general esta en la transición entre conos de talud y glaciares de escombros fósiles, es posible que algunos todavía se encuentren activos. En general las crestas tienen una altura de hasta 10m. Son alimentados por avalanchas nivo-detríticas y flujos de detrito (Washburn, 1979).

Si bien son muy comunes en los Andes Centrales, en general son pocos los trabajos dedicados a estas geoformas (Trombotto, 2000). Martinez (2002) menciona la presencia de protalus rampart fósiles asociados a las glaciaciones pleistocenas en el Cordón la Grasa, al sur del área de estudio.

Glaciares de escombros fósiles

Hasta el momento no se han reconocido mesoformas con fuertes pendientes y rasgos superficiales “frescos” que indiquen la presencia de actividad reciente. Sin embargo existen grandes acumulación de detritos en forma de lóbulos con diferentes diseños en planta, desde lóbulos simples hasta complejos, formados por la superposición de varios lóbulos (Figura 6 A y 6B). Los lóbulos pueden tener desde una extensión longitudinal de 100 metros hasta un par de kilómetros. El más grande hasta ahora reconocido, se encuentra en la cabecera del Arroyo Centinela y tiene, aproximadamente, 2.5 Km desde el frente hasta su zona de alimentación.

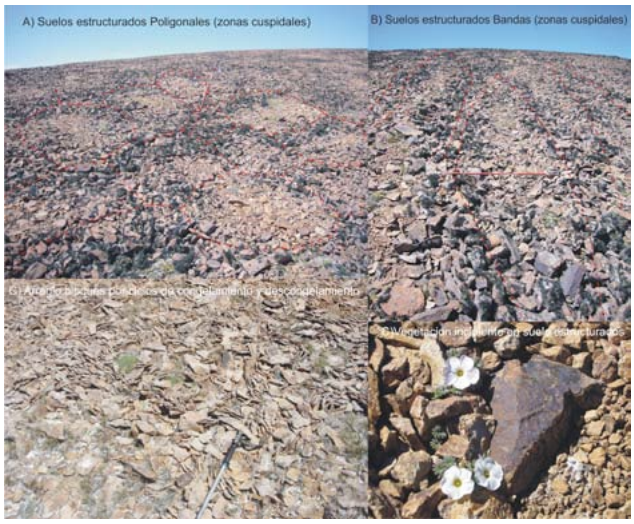


Figura 2. Diferentes diseños de suelos estructurados desarrollados en crestas cuspidales. A) Suelos estructurados poligonales desarrollados a más de 1800 msnm. B) Diseño en bandas, en zonas de mayor pendiente que en A. C) grietas de contracción térmica obsérvese el arreglo paralelo de los bloques. D) detalle de la vegetación desarrollada en zonas de suelos estructurados.

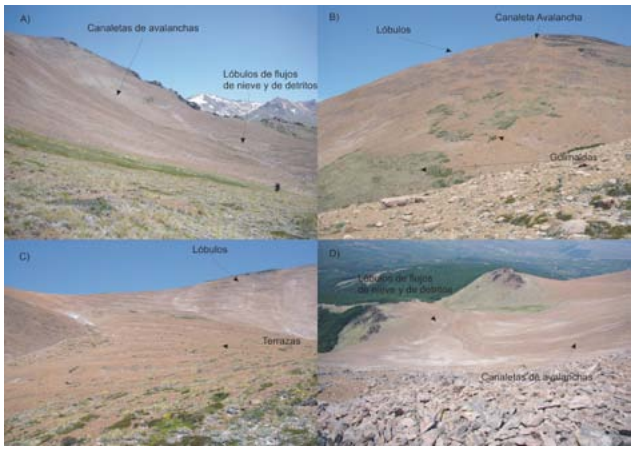


Figura 3. A) Pendiente norte, cortada por avalanchas nivo-detríticas. B) Zona con lóbulos y guirnaldas atravesada por una canaleta de avalancha (rasgo paraperiglacial?). C) vista de los lóbulos y terrazas de solifluxión, pendiente calida. D) Detalle la canaleta y lóbulos formados por el paso de avalanchas nivo-detríticas.

Figura 4. A) Vista general de los conos de talud en una ladera sur, valle del Silencio. Se indica la zona con posible permafrost (BTS<3°C). B) detalle de los conos. Se observa como el derretimiento de los manchones de nieve genera los flujos de detritos. C) vista de los conos, en donde se indican otros rasgos geomórficos asociados. D) detalle de la fábrica abierta de los conos, este tipo de fábrica permite el ingreso de aire frío al terreno.

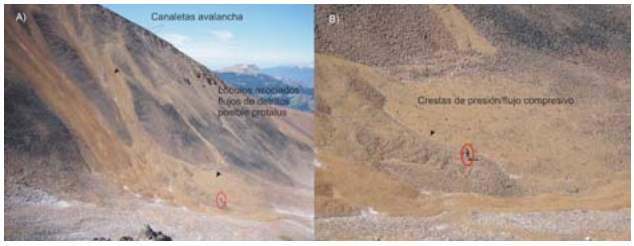


Figura 5. A) canaleta de avalanchas nivo-detríticas con flujos de detritos depositados al pie. B) detalle de los flujos, se observan crestas de presión asociados al flujo compresivo desarrollado por el cambio de pendiente. Circulo rojo una persona como escala.

Los lóbulos más extensos son los que es encuentra a menor altitud. El limite inferior de los mismos se encuentra aproximadamente a 1300 msnm (150m por debajo del treeline) en los valles con orientación O-SO y 1450 msnm en los de orientación E-NE (Figuras 6B y 6C). Los lóbulos se desarrollan principalmente en pendientes tienen pendientes entre 10° y 25°, con orientación SE-SO. La forma compleja y la superposición de formas imposibilitan separar formas individuales, es probable que existan varias generaciones de glaciares de escombros.

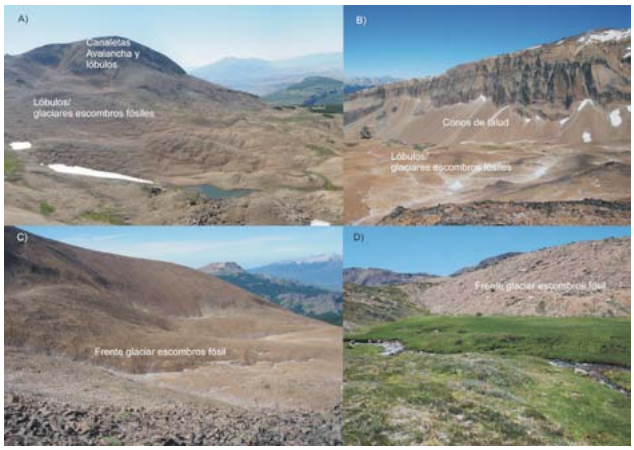


Figura 6. A) vista panorámica, hacia el sur, de los glaciares de escombros fósiles en el Valle del Silencio. Se observa diferentes lóbulos apilados. Nótese el desarrollo de lóbulos y terrazas de solifluxión superpuestas a los lóbulos mayores. B) Vista panorámica, hacia el norte, se observa las lomadas que formaban los antiguos lóbulos hoy en día degradados, en el fondo se observan los conos de talud activos. C) Posible frente de un lóbulo o glaciar de escombros fósil 1550 msnm. D) Otro posible frente de un glaciar de escombros, cerca del treeline 1400 msnm.

Otras geoformas

Asociado a las geoformas periglaciales o criogénicas también se observan otras geoformas influenciadas por esta actividad pero que no deben su génesis a la actividad del hielo y los ciclos de congelamiento y descongelamiento.

Entre ellas las más importantes debido a su relación directa con la presencia de permafrost (Barsch, 1977; Garleff and Stingl, 1986; Harris and Corte, 1992; Trombotto, 1991) son los manchones de nieve perenne asociados a conos de talud y a pequeños nichos de nivación (Figura 4B, 7A, 7B, 7C y 7D). Estos si bien pueden reconocerse en el campo y en las imágenes satelitales, no han sido mapeados debido a la gran cantidad de nieve presente en la imagen lo cual imposibilita su correcta identificación. También existen en el área de estudio pequeños cuerpos de agua de menos de 1m de profundidad y algunas vegas o mallines.

Discusión

Geomorfología del Valle del Silencio, zona de control de Campo

El valle del Silencio, en el extremo sur del Cordón Rivadavia, tiene una orientación SO-NE (Figura 8A y 8B). Se encuentra limitado al norte por una fuerte pendiente (>60°) dominada por procesos de caída de roca y avalanchas nivo-detríticas que dan origen a una serie de conos de talud (talus) al pie de la ladera (Figura 4). En el ápice de estos conos se conservan manchones de nieve perennes o cuasi perennes, generados principalmente por avalanchas (Figura 4B).

Hacia el sur y sureste esta limitado por laderas de menor pendiente (laderas norte), donde se desarrollan conos de talud y lóbulos de flujos de detritos asociados principalmente a avalanchas nivo-detriticas (Figura 5).

El fondo del valle esta cubierto por un variado conjunto de lomadas, lóbulos y terrazas, compuestos por bloques angulosos de diferentes tamaños, es común la presencia de grietas de contracción térmica en el terreno, generando estructuramiento de la cobertura detrítica. En base a su tamaño y forma los lóbulos y demás geoformas que caracterizan el fondo del valle son interpretados como lóbulos y terrazas de solifluxión asociados a la degradación de glaciares de escombros fósiles (Figura 6 y 8B). Estos últimos todavía conservan parte de su morfología original, principalmente la pendiente frontal, la cual es posible reconoce debido a que tiene un relieve topográfico mayor al de los lóbulos (más de 10 metros) (Figura 6C y D). En las zonas cuspidales que rodean al valle se observa la presencia de suelos estructurados posiblemente inactivos ya que se encuentran parcialmente vegetados (Figura 2).

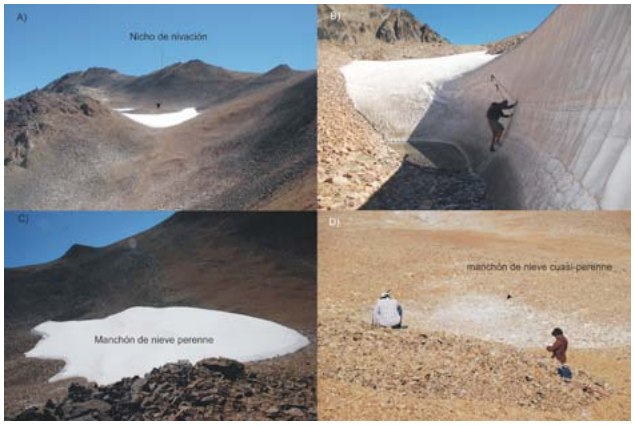


Figura 7. A) manchón de nieve perenne asociado a pequeños nichos de nivación, desarrollado a más de 1800 msnm. B) manchón de nieve de más de 3m de espesor. C) uno de los manchones de nieve más extenso en el valle del silencio tiene una extensión de 10x30m aproximadamente. D) manchón de nieve quasi-perenne, se observa la traza del mismo debido a la presencia de ceniza volcánica.

Los glaciares de escombros fósiles del valle del Silencio

En base a las evidencias geomorfológicas se interpreta que el/los glaciar/es de escombros que ocuparon el valle del Silencio tenían un diseño en planta complejo, formado por varios lóbulos, los cuales provenían de los laterales del valle alimentados principalmente por conos de talud. La presencia de diferentes lóbulos puede estar asociada tanto a variaciones en la velocidad o exposición de los lóbulos o a diferentes edades de actividad lo cual puede estar reflejando cambios en las condiciones climáticas a lo largo del tiempo.

Los glaciares de escombros como indicadores paleoambientales

Los glaciares de escombros son fenómenos de regiones montañosas secas y frías, de ahí la gran importancia y desarrollo que alcanza en los Andes Centrales Áridos (32°-34°S) (Corte y Espizua, 1981; Trombotto et al., 1999; entre otros).

Según Haeberli, (1985) y Cheng (1983) para que los glaciares de escombros activos se desarrollen, a demás del aporte detrítico, es necesario que la línea de equilibrio de los glaciares blancos se mantenga por encima del límite inferior de permafrost discontinuo de montaña. El límite inferior del permafrost de montaña discontinuo coincide aproximadamente con la isoterma de -1°C a -2°C y la línea de equilibrio de los glaciares sobrepasa esta isoterma si la precipitación es menor a 2500mm al año (Haeberli, 1985; Cheng, 1983). Barsch (1977) señala que el frente de los glaciares de escombros coincide con el límite de permafrost discontinuo en los Andes Centrales.

A escala regional se asume, por lo tanto, que las condiciones propicias para la presencia de permafrost reptante en los Alpes, corresponde con una temperatura media anual del aire (TMAA) menores -1°/-2°C y precipitaciones medias anuales (PMA) menores a 2500mm.

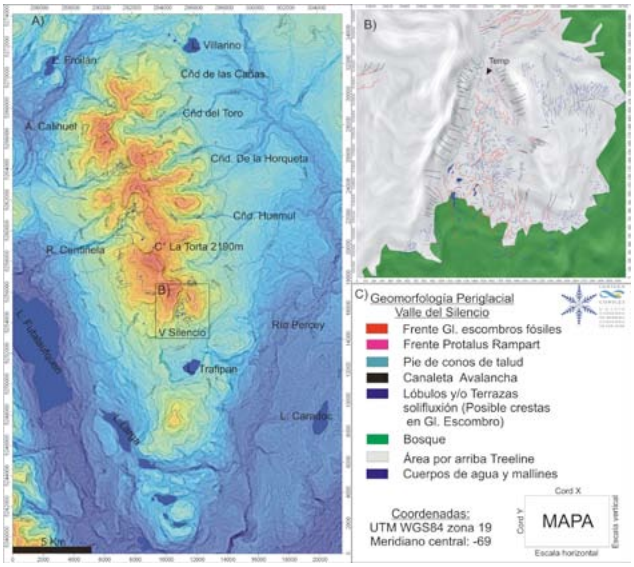


Figura 8. A) Mapa topográfico del Cordón Rivadavia. Se indican los cerros, valles, ríos y lagos principales. En línea negra el limite inferior de los glaciares de escombros fósiles reconocidos. B) Mapa geomorfológica del valle del Silencio, curvas de nivel y sombreado (curvatura vertical) para acentuar la topografía. Se indica la localización del termómetro. C) Referencia del mapa de la figura B.

Para el caso de los Andes Secos el límite de actividad de los glaciares de escombros está delimitada por la escasez de precipitación, tiene que ser mayora 175 mm (Trombotto, 2000), con temperaturas cercanas a 0 ºC. Es importante señalar que a escala local hay otros factores que influyen en la ecuación de balance térmico y que permiten la presencia de permafrost y glaciares de escombros activos e inactivos a TMAA incluso por encima de 0°C (Ikeda y Matsuoka, 2002; Brenning 2005).

Entre los factores más importantes que afectan a escala local la presencia de permafrost, se encuentran; una potente cobertura detrítica gruesa, por un lado permite la penetración del aire frío y por otro aísla al permafrost de la variación de temperatura de corta duración, presencia de manchones de nieve perennes o cuasi-perennes, los cuales ayudan a enfriar el sustrato, sombra topográfica disminuyendo la radiación solar y patrones de viento local que traen vientos fríos (Trombotto, 1991; Schrott, 1994; Breanning 2005; Ruiz et al.2009; entre otros).

Como una primera aproximación es posible reconstruir la posición de la isoterma de -1°C/-2°C en el Cordón Rivadavia, siguiendo las premisas de Haeberli, (1977 y 1985) y Cheng (1983), si se asume que la cota de los glaciares de escombros fósiles se corresponde con el limite inferior de permafrost de

montaña en el periodo en que estos se encontraban activos. Actualmente no hay valores de temperatura media anual medidos para Cordón Rivadavia (Ruiz et al.2009). Las únicas estaciones meteorológicas se encuentran en los valle (Ej, Aeropuerto Esquel, Aldea Escolar). Como aproximación de la posición actual de la isoterma de -1°C/-2°C se realizo una extrapolación a partir del cálculo de la isoterma en ambas estaciones, en base a la siguiente regresión lineal:

$$Z_1 = \frac{(T_1 - T_0) - (0.06°C/m * Z_o)}{-0.06°C/m}$$

Donde Z1= Altura de la isoterma de -1°C/-2°C.
Z0= Altura de la estación Meteorológica.
T1=-1°C o -2°C
T0=Temperatura media anual en la Estación Meteorológica.
0.06°C/m= gradiente de temperatura adiabático para la atmosfera seca.

La temperatura media anual para la estación meteorológica situada en Aeropuerto de Esquel (42°54'S; 71°08'O; 788msnm) desde principios del siglo pasado hasta 1990 se observa en la Figura 9. El promedio durante estos 89 años es de 8.2°C.

La temperatura anual para la última década en la estación meteorológica en Aldea Escolar (43°07'S; 71°33'O; 450msnm) se observa en la figura 10. El promedio durante estos 10 años es de 10.2 °C.

En base a los datos de ambas estaciones, la isoterma de -1°C/-2°C se encuentra desde principios del siglo pasado a una altura de 2316-2480 msnm. El límite inferior de los glaciares de escombros fósiles en el Valle del Silencio y en el resto del Cordón Rivadavia se encuentra entre los 1350-1450 msnm, si tomamos esta cota como el limite inferior de permafrost de montaña en el Cordón Rivadavia (isoterma de -1°C/-2°C).

Es posible suponer un descenso de la temperatura media anual del aire de entre 5.2°C a 6.8°C con respecto a la actual, para el momento en que estos glaciares de escombros se encontraban activos en la zona del Cordón Rivadavia. Es importante señalar que este dato parte de la suposición de que los glaciares de escombros fósiles, cuando se encontraban activos respondían a condiciones climáticas regionales y no solo a factores locales, lo cual tiene que ser confirmado con evidencias de permafrost de montaña en otros cordones montañosos cercanos.

Existen, sin embargo, en la Patagonia norte otros autores (Flint y Fidalgo, 1964; Heusser et al., 1999; Martinez, 2002) que han encontrado descenso de temperatura de este mismo rango (6°C). Según estos autores estos valores de temperatura tan bajos están asociados con las glaciaciones pleistocenas en general o con el último máximo glacial en particular, dependiendo de la precisión en las dataciones.

Flint y Fidalgo (1964) sostienen un descenso de la línea de equilibrio de los glaciares blancos de aproximadamente de 1000 metros en la zona del Mte. Tronador, en base en base a la línea de firn de 1964 y al piso de los circos ocupados durante las glaciaciones pleistocenicas. Tomando un gradiente de 0.6 °C/100m indicanun descenso de temperatura de 6°C con respecto a la actual asociado a las glaciaciones pleistocenicas.

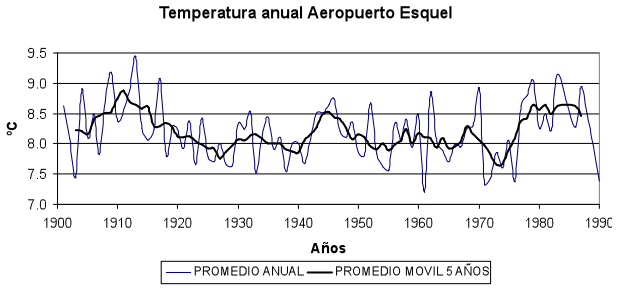


Figura 9. Temperatura media anual en el Aeropuerto de Esquel desde 1900 hasta 1990. Servicio Meteorológico Nacional.

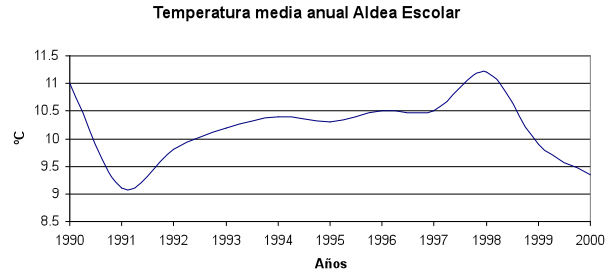


Figura 10. Temperatura media anual en la Aldea Escolar desde 1990 hasta el 2000. INTA Esquel.

Heusser et al., (1999) en base a estudios polínicos sugieren un descenso de la temperatura durante el LGM de 6°C a 8°C en la zona de la región de los lagos Chile.

Al sur de la zona de estudio, Martinez (2002) reconoció la presencia nicho de nivación y protalus rampart fósiles en una cota mayor a 1350 msnm en Sierra Colorada, Cordón la Grasa, Cordón Kaquel y el Cerro Palenque, los cuales según este autor estaría asociados a la última glaciación (Drift V; Martinez, 2002). Sugiere que si la génesis de los protalus rampart esta asociado a glaciares de roca embrionarios, estarían indicando la presencia de permafrost discontinuo de montaña y una temperatura de aire media anual de -2°C.

Si bien Martinez (2002) no presenta edades absolutas para los

diferentes Drift reconocidos. La altura del limite de permafrost discontinuo de montaña presentada por él coincide con el limite inferior de los glaciares de escombros en el Cordón Rivadavia.

Además, el descenso de temperatura de 5.2°C a 6.8°C calculado coincide con los presentados por otros autores (Flint y Fidalgo, 1964; Heusser et al., 1999) para la última glaciación/glaciaciones pleistocenas.

Es importante señalar que debido a la presencia de la Cordillera de los Andes y la diferencia entre un clima marítimo y otro continental a ambos lados de la misma, además del efecto de enfriamiento de la calota de hielo, es posible que las variaciones en la temperatura a un lado y otro no necesariamente tengan que tener la misma magnitud. Trombotto (2002) señala la presencia de moldes de cuñas de hielo en Holdich-Pampa Castillo (46°S) asociados a LGM, donde hoy la temperatura media anual del aire es superior a los 10°C. Estos rasgos indicativos de permafrost continuo de planicie indican una diferencia de -13°C con respecto a la actual.

Por otra parte las evidencia de abrasión glaciar asociados a las glaciaciones pleistocenas en las cercanías del cordón Rivadavia se observa a una cota menor (1090-1300 msnm) (Ruiz, datos no publicados). Por lo que se puede señalar como hipótesis preliminar a ser corroborada por futuras investigaciones, que los glaciares de escombros más importantes en el cordón Rivadavia, cuyos frentes se encuentra entre los 1350-1450 msnm, están asociados por lo menos a la última glaciación/deglaciación.

Es necesario analizar si los diferentes lóbulos superpuestos corresponden a otros periodos fríos (Antartica Cold reversal/ Younger Dryas, Neoglaciaciones), o a diferencias propias de la dinámica de cada lóbulo/geoforma (Figura 11).

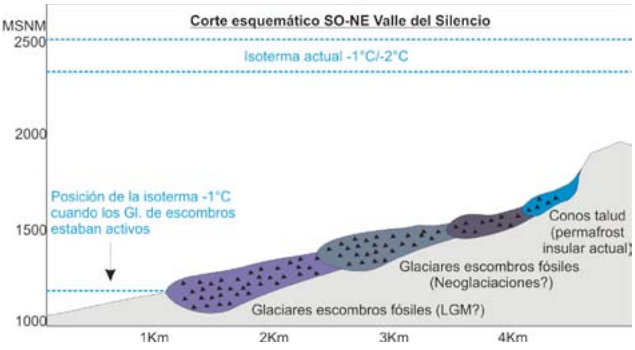


Figura 11. Relación entre los diferentes lóbulos de glaciares de escombros fósiles y la presencia de permafrost de montaña insular actual en los conos de talud/protalus rampart. Se indica además el supuesto cambio en la posición de la isoterma de -1°C asociado a cuando los glaciares de escombros fósiles más extensos estaban activos.

Permafrost actual en el valle del Silencio

Sobre las pendientes expuestas al S se han hecho mediciones BTS (Bottom Temperature of the winter Snow cover), que indican permafrost probable (BTS < -2.5 °C). Las mediciones están asociadas a los conos de talud orientados al sur donde la radiación solar es minima. En base a estos datos es posible que debido a afectos locales (sombra topográfica, machones de nieve, potente cobertura detrítica) exista hoy en día permafrost de montaña, con distribución insular, por encima de los 1700 msnm (Ruiz et al. 2009). La presencia de permafrost hoy en día, supuestamente por debajo de la isoterma de 0°C, refuerza la interpretación que durante periodos donde la temperatura era inferior a la actual, Neoglaciaciones y/o última glaciación por ejemplo, el permafrost pudo haber tenido una distribución espacial más extensa, con el desarrollo de glaciares de escombros de más de 2 km de largo.

Conclusiones

Mediante el análisis de información de sensores remotos en programas de información geográfica y control en el terreno. Se ha podido identificar diversas geoformas asociadas al ambiente periglacial actual y pasado.

En el actual, las geoformas más importantes son lóbulos y terrazas de solifluxión y conos de talud y protalus rampart, muchas veces son formas transicionales difíciles de separar. También se han observado manchones de nieve perennes o cuasi-perennes los cuales tiene una gran importancia en la generación de condiciones propicias para el desarrollo de permafrost insular de montaña.

Las geoformas criogénicas de mayor tamaño reconocidas corresponden a glaciares de escombros fósiles. Estos se desarrollan a diferentes alturas y tiene un diseño complejo, formado por la superposición de lóbulos. El limite inferior de los mismos, el cual puede ser relacionado con el límite inferior de permafrost de montaña en el Cordón Rivadavia en el pasado, se encuentra a 1350-1450 msnm. En base a la relación con la posición de la isoterma actual, se propone un descenso de la temperatura de 5.2°/6.8°C con respecto a la actual cuando estos glaciares estaban activos. Similares descenso de temperaturas han sido asociados por otros autores a las glaciaciones pleistocenicas.

Es necesario un análisis más profundo de los factores que favorecieron el desarrollo de permafrost de montaña reptante en la zona, así como extender el control de campo hacia otras zona del cordón donde existe la evidencia de glaciares de escombros de mayores dimensiones que en el Valle del Silencio.

Comprender la relación entre el permafrost presente hoy en

día y las condiciones que permiten su generación, nos ayudará a conocer con mayor exactitud cuales fueron los factores que permitieron el desarrollo de glaciares de escombros en el pasado.

Por otra parte es importante extender el mapeo hacia otros cordones montañosos para comprende la magnitud y distribución del permafrost de montaña en el pasado y su vinculación con los cambios climáticos.

Bibliografía

- Auer V., 1956. The Pleistocene of Fuego-Patagonia. Part I: The ice and interglacial ages. Annales Academiae Scientiarum Fennicae A. III, 45 pp.
- Auer V. 1970. The Pleistocene of Fuego-Patagonia. Part V: Quaternary problems of southern South America. Annales Academiae Scientiarum Fennicae A. III, 100, 194 pp.
- Barsch, D., 1977. Alpiner Permafrost: ein Beitrag zur Verbreitung, zum Charakter und zur Ökologieam Beispiel der Schweizer Alpen. Akad. Wiss. G¨ottingen Math.-Phys. Kl. Folge 3, 31: 118–141.
- Barsch, D., 1996. Rockglaciers. Springer Berlin.
- Brenning, A., 2005. Geomorphological, hydrological, and climatic significance of rock glaciers in the Andes of Central Chile (33-35 S). Permafrost and Periglacial Processes 16: 231-240.
- Clapperton C., 1993. Quaternary and Geomorphology of South America. Elsevier, Amsterdam, 779 pp.
- Corte A., 1968. Informe preliminar del progreso efectuado en el estudio de las estructuras de crioturbación pleistocénicas fósiles en la provincia de Santa Cruz. Terceras Jornadas Geológicas Argentinas, Tomo II, 9–19.
- Corte, A., 1976: Rock glaciers. Biuletyn Peryglacjalny 26: 175-197.
- Corte A., 1991. Chronostratigraphic correlations of cryogenic episodes in Central Andes and Patagonia. Permafrost and Periglacial Processes, 2, 67–70.
- Corte A., 1997. Geocriología. El Frío en La Tierra. Ediciones Culturales de Mendoza, Fundar Editorial Grafica, Mendoza, 398 pp.
- Corte, A.E.; Espizúa, L. 1981. Inventario de Glaciares de la Cuenca del Río Mendoza. IANIGLA – CONICET, Imprenta Farras. Mendoza.
- Corte A., Beltramone C., 1984. Edad de las estructuras geocriogénicas de Puerto Madryn, Chubut, Argentina. Acta Geocriogénica, 2, Mendoza, 67–72.
- Czajka W., 1955. Rezente und pleistozäne Verbreitung und Typen des periglazialen Denudationszyklus in Argentinien. Acta Geographica, 14, 10, 121–140.
- Del Valle, H., Beltramone C., 1987. Morfología de las acumulaciones calcáreas en algunos paleosuelos de Patagonia Oriental (Chubut). Ciencia del Suelo, 5, 1, 77–87.
- Feruglio, E., 1950. Descripción Geológica de la Patagonia. Yacimientos Petrolíferos Fiscales (YPF). Vol. 3. Buenos Aires.
- Flint, R., Fidalgo, F., 1964. Glacial Geology of the East Flank of the Argentine Andes betweenLatitude 39°10' S and Latitude 41°20' S. Geological Society of America Bulletin, v. 75: 335-352.
- Garleff K., 1977. Höhenstufen der argentinischen Anden in Cuyo, Patagonien und Feuerland. Göttinger Geographische Abhandlungen, 68, Göttingen, 150 pp.
- Garleff, K., Stingl, H.,1986. Geomorphologische Aspekte aktuellen und vorzeitlichen Permafrostes in Argentinien. Zentralblatt fuer Geologie und Palaeontologie, Teil I: Allgemeine, Angewandte, Regionale und Historische Geologie Heft 9/10, 1367–1374.
- Garleff, K., Stingl, H., 1988. Geomorphologische Untersuchungen in der nivalen und subnivalen Stufe der argentinischen Anden –Ergebnisse und paläoklimatische Interpretation. Deutscher Geographentag München, Tagungsbericht und wissenschaftliche Abhandlungen, 46, Stuttgart, 419-425.
- Groeber, P., 1950. Quartäre Vereisung Nordpatagoniens. Sonderdruck der Zeitschrift 'Südamerika', Buenos Aires, 6 pp.
- Gruber, S. Y Hoelzle, M., 2001. Statistical Modelling of Mountain Permafrost Ditribution: Local Calibration an Incorporation of Remotely Sensed Data. Permafrost and Periglacial Porcesses, 12: 69-77.
- Haeberli, W., 1985. Creep of mountain permafrost: internal structure and flow of alpine rock glaciers. Mitteilungen der Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie, ETH Zürich, 77.
- Haller, M., 1981. Descripción Geológica de la Hoja 43h – Puerto Madryn. Boletín del Servicio Geológico Nacional, Nr. 184, Buenos Aires, 41 pp.
- Harris, S. A. and Corte, A. E., 1992. Interactions and relations between mountain permafrost, glaciers, snow and water. Permafrost Periglac. Process., 3:103–110.
- Heusser, C.J., Heusser, L.E., Lowell, T.V., 1999. Paleoecology of the southern Chilean Lake District–Isla Grande de Chiloé during middle–late Llanquihue glaciation and Deglaciation. Geografiska Annaler 81A, 231–284.
- Ikeda A., and Matsuoka,N., 2002. Degradation of Talus-derived Rock Glaciers in the Upper Engadin, Swiss Alps. Permafrost Periglac. Process., 13:145–161, 2002.
- Liss, C. Ch., 1969. Fossile Eiskeile (?) an der patagonischen Atlantikküste. Zeitschrift für Geomorphologie, N.F., 13, 109–114.
- Martínez, O., 2002. Geomorfología y geología de los depósitos glaciarios y periglaciarios de la región comprendida entre los 43° y 44° lat. sur y 70°30´ y 72° long. oeste, Chubut, República Argentina. Universidad Nacional de la Patagonia S.J.B., Tesis Doctoral, Inédito.
- Mercer, J.H., 1976. Glacial history of southernmost South America. Quaternary Research 6, pp.125–166.
- Mercer J.H., Ager T., 1983. Glacial and floral changes in southern Argentina. Nat. Geogr. Soc. Res. Rep. 15, 457–477.
- Ruiz, L.,Trombotto D. and Hernández J., 2009. Utilización de modelos numéricos en la búsqueda de Permafrost de montana en el NW de Chubut, Argentina. Acta de Resúmenes ICES-5, pp 116-117.
- Schäbitz, F., Stein, B., Trombotto, D., 1999. Periglazialerscheinungen in quartaeren Deckschichten des

ausserandinen Patagonien, suedliches Argentinien. ("Periglacial features in Quaternary cover-beds of non-Andean Patagonia, Southern Argentina"). Petermanns Geographische Mitteilungen, Vol. 143, Bd. 2: 119-130, Alemania.

- Schrott, L., 1991. Global solar radiation, soil temperature and permafrost in the Central Andes, Argentina: a progress report. Permafrost Periglac. Process., 2:59–66.
- Stingl, H., Garleff, K., 1985. Late-Glacial and Holocene Fluctuations of Glaciers and Climate in the Argentine Andes. Zentralblatt für Geologie und Paläontologie Teil I, (11/12): 1667-1677. Stuttgart.
- Trombotto, D., 1991. Inventory of fossil cryogenic forms and structures in Patagonia and the mountains of Argentina beyond the Andes. South African Journal of Science, 98, 171-180.
- Trombotto, D., 1992. The Cold episode Penfordd, Patagonia. International Workshop: 'Permafrost and Periglacial Environments in Mountain Areas', IGCP Project 297: 'Geocryology of the Americas', 33 pp., Calgary. See also summary of the "Reunión y Seminario de Campo, Nacional y Regional": "Geocriología y Paleoclima Nordpatagónico", Cenpat, Puerto Madryn.
- Trombotto, D., 1996 a. Fossiler kryogener Formenschatz des südlichen Südamerika. Zeitschrift für Geomorphologie N.F., Suppl.-Bd.,104, 175-186.
- Trombotto, D., 1996 b. The Old Cryogenic Structures of Northern Patagonia: The Cold episode Penfordd. Zeitschrift für Geomorphologie N.F., 40, 3, 385-399.
- Trombotto, D., 1998. Palaeo-permafrost in Patagonia. Bamberger Geographische Schriften 15, 133–148.
- Trombotto, D., 2000. Survey of Cryogenic Processes, Periglacial Forms and Permafrost Conditions in South America. Revista do Instituto Geológico, Vol. 21, Nr.1/2, São Paulo, 33-55.
- Trombotto Liaudat, D., 2008. Geocryology of Southern South America. En: "Late Cenozoic of Patagonia and Tierra del Fuego", Jorge Rabassa (Editor). Developments in Quaternary Sciences, Volume 11: 255-268, Elsevier, The Netherlands.
- Trombotto, D., Ahumada, A. L., 1993. Síntesis del análisis de estructuras sedimentarias en los 'Rodados Patagónicos' causadas por la presencia de permafrost en el criómero Penfordd, Puerto Madryn, Nordpatagonia. Actas del XII Congreso Geológico Argentino, Mendoza, Vol. VI, Buenos Aires, 97 105.
- Trombotto, D., Stein, B., 1993 a. El último criómero pleistocénico en la región de los 'kopjes' y de las grandes mesetas, Patagonia, Argentina. Actas del XII Congreso Geológico Argentino, Vol. VI, Mendoza, 92–96.
- Trombotto, D., Stein, B., 1993 b. The latest Pleistocene cold episode in the region of 'kopjes' and the big mesetas, Patagonia, Argentina. Proceedings VI International Conference on Permafrost, Vol. II, Beijing, 1238–1241.
- Trombotto, D., Ahumada, A. L., 1995 a. Análisis de estructuras sedimentarias en los 'Rodados Patagónicos' causadas por la presencia del permafrost en el criómero Penfordd, Puerto Madryn, Nordpatagonia. Revista Chilena de Historia Natural 68, 79–91.
- Trombotto, D., Buk., E., Hernández, J., 1997. Monitoring of Mountain Permafrost in the Central Andes, Argentina. Permafrost and Periglacial Processes, Vol. 8: 123 –129, Wiley & Sons, Chichester, West Sussex, UK.
- Trombotto, D., Buk, E., Hernández, J., 1999. Rock glaciers in the Southern Central Andes (appr. 33° S.L.), Mendoza, Argentina: a review. Bamberger Geographische Schriften 19: 145-173, Selbstverlag des Faches Geographie an der Universität Bamberg, Alemania.
- Trombotto, Dario, Ahumada, Ana Lía, 2005. Los Fenómenos Periglaciales. Identificación, Determinación y Aplicación. Opera Lilloana Nr. 45: 131 ps. Fundación „Miguel Lillo", San Miguel de Tucumán, Argentina.
- Vogt, T., 1992. Western Anti-Atlas (Morocco) and Central Patagonia (Argentina) calcretes: the calcium carbonate origin. Zeitschrift für Geomorphologie N.F., Suppl.Bd., 84, 115-127.
- Vogt, T., Del Valle, H., 1994. Calcretes and cryogenic structures in the area of Puerto Madryn (Chubut, Patagonia, Argentina). Geografiska Annaler, 76 A, 1-2, 57-75.
- Washburn, A.L., 1979. Geocryology. A Survey of Periglacial Processes and Environments. Arnold, Londrc (406 p.).

ESTUDIO DE LA VARIABILIDAD DE LA PRECIPITACIÓN EN PATAGONIA NORTE

Germán F. Russián (1)
Eduardo A. Agosta (2, 3)
Rosa H. Compagnucci (1, 2)

(1) Universidad de Buenos Aires, Facultad de ciencias Exactas y Naturales, Departamento de Ciencias de la Atmósfera y los Océanos.
(2) CONICET.
(3) PEPACG - UCACyT, Pontificia Universidad Católica Argentina.

Palabras Claves

- precipitación Patagonia Norte
- circulación atmosférica
- variabilidad interanual
- El Niño-Oscilación del Sur
- temperatura superficial del mar

Resumen

Se estudia la variabilidad interanual e interdecádica de la precipitación de verano y de invierno en la región norte de la Patagonia argentina, denominada Pampa Amarilla (RPA) en el período 1969-2006. El régimen anual muestra un marcado cambio del ciclo anual a lo largo de la transecta noreste-sudoeste. Hacia el noreste el ciclo anual de precipitación tiene los máximos registros con mínimo invernal marcado y máximo estival equinoccial (marzo). Hacia el sudoeste los registros son menores, con uniforme distribución a lo largo del ciclo anual, presentando mínimos invernales ligeros. Tanto para el verano como para el invierno los índices de precipitación regional no presentan tendencia significativa en el período estudiado. La distribución de frecuencias observadas de las anomalías de precipitación, tanto para el verano, como para el invierno, tienden a mostrar una mayor ocurrencia de frecuencias negativas en el intervalo (-100; 0) con una ligera mayor probabilidad de ocurrencia de extremos positivos. Para el verano es hay dos subregiones, norte y sur con diverso comportamiento interanual. En el norte los ciclos dominantes son 5 años y a 8 años, y en el sur, en torno a 2-4 años, 11 años y 15 años. Durante el invierno la RPA se comporta como una región uniforme con cuasi-ciclos significativos en torno a 4-5 años y 11 años. Los procesos de baja frecuencia de entre 3 y 6 años podrían estar relacionado al MAS. El cuasi-ciclo solar podría estar involucrado también. Para el verano, la circulación troposférica de capas bajas es distinta en el norte y en el sur de la RPA. Los centros de acción asociados a la precipitación al norte se localizan hacia latitudes medias sobre el Mar Argentino. Los asociados a la precipitación en el sur de la RPA se localizan hacia más altas latitudes. En general, actividad anticiclónica sobre la cuenca sudoeste del Atlántico próximo a Patagonia esta asociado al ingreso de humedad desde el este y mayor precipitación. En cambio, la actividad ciclónica sobre las latitudes medias en torno a la Patagonia, inhiben la precipitación. Del lado del Pacifico, la circulación inducida parece bloquear el flujo de los oestes. Para el invierno la precipitación está más asociada a actividad transiente en latitudes medias con oestes mas intensificados en el sur del Pacifico. El ENOS parece también tener influencia en la precipitación de verano.

Introducción

La región localizada al norte de la Patagonia argentina, llamada Pampa Amarilla (RPA) comprende el sur de Mendoza y las Provincias de La Pampa, Río Negro y Neuquén (34ºS-42ºS y 70ºO- 61ºO) y es la parte central de la transecta semiárida provocada por el efecto de la cordillera de los Andes. El clima característico es semidesértico debido a que las masas de aire húmedo provenientes desde el Pacífico hacia el continente, al cruzar los Andes patagónicos, de oeste a este, descienden secas (Kottek et al., 2006). La circulación atmosférica de capas bajas sobre el área está dominado por el límite sur de los anticiclones semipermanentes del Atlántico Sur y del Pacífico Sur, y el sector norte de los oestes (Schwerdtfeger, 1976). Esto hace que el área de estudio sea altamente sensible a cambios climáticos que afecten estas estructuras (Schwerdtfeger, 1951).

En un estudio de los totales anuales de precipitación para el cono sur de Sudamérica, Minetti y Vargas (1997) consideraron algunas pocas estaciones dentro del RPA. En el área noreste de la misma, sus resultados discriminan dos sub-regiones que presentan distintas variaciones temporales. Posteriormente, Minetti et al. (2003), analizando por componentes principales las precipitaciones anuales del período 1930-1999, discrimina sub-áreas de distinto comportamiento temporal. La RPA se corresponde aproximadamente a la sub-región III de dicho trabajo, para la cual encontraron una tendencia positiva para todo el período. A su vez, algunas sub-regiones de la RPA, como el sector noreste, límite entre la provincia de La Pampa y Buenos aires, fueron analizados Krepper et al. (1989). Ellos

mostraron que de norte a sur se debilita la intensidad de los máximos equinocciales que dominan el ciclo anual. Por otra parte, el área nor-oeste de la RPA linda con el sur de la región de Cuyo. En Agosta y Compagnucci (2006) se muestra que la precipitación de la región de Cuyo se relaciona directamente con la precipitación de la Patagonia norte, previo al período 1976-77. Posteriormente, la relación entre ambas regiones, se desvanece.

Recientemente, Russian y otros (2009, RCA99 en adelante), encontraron con una más amplia base de datos que la precipitación de la RPA durante el semestre cálido (Octubre-Marzo) supera a la semestre frío (Abril-Septiembre) en la sub-región norte y la existencia de oscilaciones en baja frecuencia. La sub-región sur muestrsa un comportamiento en la precipitación bastante regular a lo largo de todo el año y con oscilaciones en baja frecuencia. Por lo tanto, continuando el estudio iniciado por RCA99, el objetivo de este trabajo es estudiar la variabilidad interanual a interdecádica de la precipitación en la RPA y su relación con la circulación de tropósfera baja y la temperatura superficial del mar en el período 1969-2006 a fin de dilucidar los procesos atmosférico-oceánicos de baja frecuencia asociados.

Datos y Metodología

En la RPA hay escasa distribución de estaciones meteorológicas, de acuerdo con el banco de datos del Servicio Meteorológico Nacional. Luego de analizar el período de los registros y continuidad de la información para cada una de las estaciones disponibles, se seleccionaron 16 de ellas que cubren el período 1969-2006 (ver Tabla I).

Nº	Estación	Altura (m)	Lat (°S)	Long (°O)
1	Bernardo Larroudé	123	35°1'	63°34'
2	Malargüe	1414	35°28'	69°34'
3	General Pico	108	35°40'	63°43'
4	Victorica	312	36°13'	65°27'
5	Algarrobo del Águila	324	36°21'	67°6'

Tabla I: Numeración, altura y ubicación de las estaciones seleccionadas.

En caso de tener datos faltantes en los registros, se utilizaron estaciones secundarias que puedan servir para completar las series. La distribución espacial de las mismas resulta bastante regular y permite hacer una evaluación aproximada de la variabilidad temporo-espacial de la precipitación mensual en el área.

El ciclo anual de cada estación fue dividido en semestre cálido (Octubre-Marzo) y frío (Abril-Septiembre) para poder analizar las variaciones interanuales en cada una de las series estacionales.

Se utilizaron los datos mensuales equiespaciados en 2,5º x 2,5º de latitud x longitud, de altura geopotencial en 850hPa (H850) y de temperatura superficial del Mar (SST) provistas por el Reanalysis I del NCEP/NCAR (disponible en www.cdc.noaa.gov). Se estima la función de correlación convencional del primer momento de Pearson entre estos campos y las series índices estacionales de precipitación. La baja frecuencia permitió la subregionalización, caracterizada por dos índices calculados como el promedio entre las estaciones de las series estandarizadas para cada semestre. Sobre estas series de índices se realizaron análisis espectrales de Blackman-Tukey con ventana de Hamming (Wilks 20003).

Resultados

Características de la precipitación de verano e invierno

El régimen anual de precipitación presenta cambios entre el sector noreste y el sector sur-suroeste de la RPA. Las mayores precipitaciones ocurren en la región noreste y disminuyen hacia el sur-sudoeste. Tanto en el sector noreste, como en el centro de la RPA, hay un marcado ciclo anual con mínimos en invierno y máximos en verano, con valores preponderantes en Marzo (RCA99). Hacia el sector noroeste, las precipitaciones disminuyen, y en Malargüe (2) los valores son similares para todos los meses, dándose la excepción de un relativo máximo invernal (RCA99).

En la Tabla II, se muestran algunos valores estadísticos para las distintas estaciones de la región para el semestre cálido (Panel superior) y para el frío (Panel Inferior). Se observa que los valores máximos de precipitación promedio en ambos semestres corresponden a las estaciones del nor-noreste de la región y además poseen los valores máximos de desvío estándar. A medida que nos desplazamos hacia el sur, sin importar qué semestre estemos analizando, el desvío estándar va disminuyendo, hasta alcanzar un valor mínimo en San Antonio Oeste (estación 15) en el semestre cálido y en Maquinchao (estación 16) en el semestre frío. Lo anterior confirma los resultados de RCA99.

La Figura 1 muestra el mapa de la región y los histogramas de las estaciones meteorológica localizadas en ella, para el verano (V) e invierno (I). Tanto para el invierno como para el verano, la mayor parte de las estaciones presentan máxima frecuencia de ocurrencia en el intervalo (-1;0] (en la figura son las barras señaladas con -1), es decir, que la moda corresponde a anomalías negativas. Esto significa que es más probable la ocurrencia de semestres por debajo de la media, y una ligera mayor probabilidad de ocurrencia distribuida en intervalos de anomalías positivas (cola hacia la derecha). Durante el invierno (paneles I), las estaciones hacia del sur (14, 15, 16) presentan la menor dispersión y todas muestran una asimetría negativa, a excepción de las estaciones 1, 3,6 y 9. Para el verano (paneles V), la dispersión se incrementa, con excepción de Malargüe, donde los extremos desaparecen. Las estaciones del norte (de 1 a 6) experimentan una mayor

ocurrencia de extremos, tanto húmedos como secos. El hecho que ninguna de las estaciones presenta histograma que se ajuste a la función distribución de probabilidad de Gauss, o normal, significa que la variable anomalía de precipitación no es aleatoria. Entonces existen forzantes en la baja frecuencia que determinan y condicionan las anomalías en las series de precipitación dentro de la región.

Semestre Cálido										
Nº	Estación	Promedio	Mediana	Mín	Máx	1er cuartil	3er Cuartil	Intercuartil	Var	Desvío
1	Bernardo Larroude	652,54	633,00	346,00	1071,00	533,00	740,00	207,00	30910,76	175,81
2	Malargue	153,14	136,70	57,60	253,10	105,30	193,20	87,90	3210,60	56,66
3	Gral Pico	636,44	614,80	370,00	916,80	490,20	769,40	279,20	24409,43	156,24
4	Victorica	482,77	474,00	197,00	800,50	381,50	575,00	193,50	22885,34	151,28
5	Algarrobo Aguila	320,26	329,00	71,00	693,00	231,00	386,00	155,00	16810,18	129,65
6	Quehué	502,18	518,00	101,00	812,00	391,50	618,00	226,50	28930,52	170,09
7	Puelén	199,31	199,00	33,00	432,00	125,30	272,00	146,70	10210,75	101,05
8	La Reforma	291,77	283,50	139,00	569,00	201,00	364,00	163,00	11903,02	109,10
9	Guatraché	508,72	499,00	222,00	978,00	446,00	578,00	132,00	22356,81	149,52
10	Bahia Blanca	426,96	408,00	200,00	719,00	341,00	500,00	159,00	15836,36	125,84
11	Gob. Duval	175,62	161,00	46,00	367,00	129,50	222,00	92,50	6694,49	81,82
12	Neuquén	112,52	97,40	6,60	381,30	74,90	133,00	58,10	5047,81	71,05
13	La Adela	299,27	298,00	52,00	470,00	260,50	359,50	99,00	10342,33	101,70
14	Viedma	211,47	186,80	78,60	389,30	155,30	270,10	114,80	7385,76	85,94
15	San Antonio Oeste	144,75	140,90	59,00	299,60	107,30	173,70	66,40	3194,10	56,52
16	Maquinchao	108,66	107,40	12,70	255,40	63,80	141,40	77,60	3870,41	62,21

Semestre Frío									
Estación	Promedio	Mediana	Mín	Máx	1er cuartil	3er Cuartil	Intercuartil	Var	Desvío
Bernardo Larroude	223,18	225,00	70,00	405,00	183,00	276,00	93,00	6760,29	82,22
Malargue	173,34	157,30	62,30	401,40	126,20	218,30	92,10	5969,78	77,26
Gral Pico	218,04	210,80	69,00	369,50	179,00	268,90	89,90	5117,56	71,54
Victorica	161,90	150,00	21,00	344,00	121,20	219,50	98,30	6074,72	77,94
Algarrobo Aguila	125,11	111,00	2,00	270,00	68,00	174,55	106,55	4883,85	69,88
Quehué	196,83	201,00	32,00	358,00	142,00	260,00	118,00	7397,25	86,01
Puelén	101,73	97,00	6,00	266,00	47,00	134,00	87,00	4478,83	66,92
La Reforma	129,04	126,00	8,00	270,00	74,00	186,50	112,50	4462,62	66,80
Guatraché	233,88	237,00	59,00	515,00	149,00	284,50	135,50	12504,23	111,82
Bahia Blanca	240,12	211,00	61,00	467,00	176,00	281,00	105,00	9013,18	94,94
Gob. Duval	132,94	118,00	21,00	275,00	88,00	174,00	86,00	4434,68	66,59
Neuquén	104,55	97,70	18,20	247,10	70,60	129,70	59,10	2905,76	53,91
La Adela	170,29	169,20	25,00	374,00	113,00	227,00	114,00	7266,33	85,24
Viedma	171,86	161,90	91,00	327,10	139,00	193,50	54,50	2869,27	53,57
San Antonio Oeste	137,20	125,50	43,80	291,90	90,30	157,90	67,60	3688,94	60,74
Maquinchao	111,18	111,50	38,20	201,40	87,70	129,20	41,50	1539,65	39,24

Tabla II. Promedio, mediana, Mínimo, Máximo, 1er y 3er cuartel, intervalo intercuartil, Varianza y Desvío estándar para cada uno de las estaciones para el semestre cálido (panel superior) y el semestre frío (panel inferior). Unidad: mm

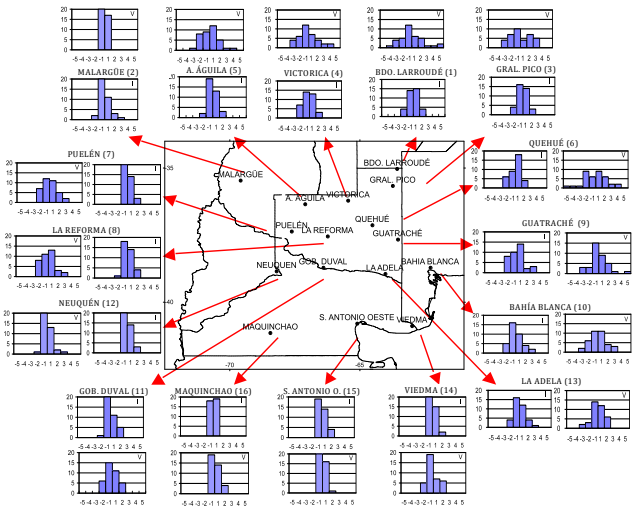


Figura 1. *Histogramas de distribución de las anomalías de precipitación para cada una de las estaciones analizadas de la región. Gráficos internos*

RCA99 sugirieron que en la baja frecuencia la región estudiada puede dividirse en 2 subregiones: una norte y otra sur, tanto para el verano como para el invierno, utilizando como método discriminante la coherencia en fase en baja frecuencia (ondas mayores a 6 años) visualmente detectable entre las estaciones. Para el invierno, ellos determinaron que la subregión norte está compuesta por las estaciones 2, 4, 5, 6, 7 y 8; y la sur, por las estaciones 3, y 9-16. Para el verano, la subregión norte está integrada por las estaciones 1-9, mientras que la subregión sur, queda formada por las estaciones 10, 12-16. A partir de este agrupamiento, se construyen índices de precipitación subregionales, tanto para el invierno, como para el verano. El índice se construye mediante el promedio espacial de cada una de las series tipificadas. En general, para cada uno de ellos, los coeficientes de correlación con las estaciones que los conforman son altos (mayores a 0.7) y significativamente distintos de cero al 99% de confianza.

La correlación entre los índices Verano Norte (VN) y Verano Sur (VS) es 0.37, significativamente distinto de cero al 95%. El bajo valor de esta correlación muestra que la subregionalización en escala interanual para la precipitación de verano tiene significado físico. En cambio la subregionalización no parece relevante en invierno, dado que el coeficiente de correlación entre los índices Invierno Norte e Invierno Sur es 0.74, significativamente distinto de cero al 99% de confianza. Esto es de esperarse, dado que la RPA está bajo el efecto de los oestes durante el invierno (RCA99). Por ello se decide analizar el comportamiento temporal y la circulación atmosférica asociada a los índices VS (verano subregión sur) y VN (verano subregión norte) y del invierno promediando todas las estaciones tipificadas de la región (IR).

Variabilidad temporal de la precipitación regional de verano e invierno

La Figura 2 muestra las series interanuales y suavizados (ondas mayores a 6 años) de los índice VN, VS e IR, panel superior, medio e inferior, respectivamente. De la figura claramente se observa la ausencia de tendencia significativa en la precipitación para los últimos cuarenta años en la RPA tanto en verano como en invierno. Cada una de ellas en baja frecuencia muestra oscilaciones diversas, que en ciertas décadas están en fase. Tanto en la subregión norte como la subregión sur de verano, como en toda la RPA en invierno, la última década presenta valores que tienen a decrecer. Asimismo las series de verano están en fase en la baja frecuencia en las dos primeras décadas, mientras que desde mediados de los 1980s las fases se oponen. Nótese que el índice VN e IR están en fase coherente desde comienzos 1980s hasta el final del registro.

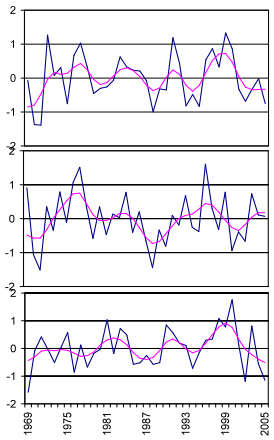


Figura 2. *Panel superior corresponde al índice Verano Norte (VN); Panel medio, índice Verano Sur (VS) y Panel inferior, índice Invierno (IR). En todos los casos fue aplicado un suavizado utilizando la ventana de Hamming de 6 términos.*

Oscilaciones en baja frecuencia

A fin de estudiar los ciclos de baja frecuencia observados en la Figura 2, las series de índices se analizan mediante descomposición en armónicos de Fourier. El análisis de espectros se realizó utilizando una ventana de Hamming con bandas de significancia al 90% de confianza.

En la Figura 3a se observa el espectro de ondas para el índice VN. En este caso, podemos observar dos máximos significativos a más del 90%: el primero ubicado hacia los 5-6 años, y otro ubicado alrededor de los 8 años. El espectro nulo asociado es de ruido blanco markoviano con r1=0.19 no significativo al 95%.

La Figura 3b muestra el espectro de ondas del índice VS. En él puede observarse que aparece un pico alrededor de 2 años que se extiende hasta aproximadamente los 4 años. Luego la energía espectral presenta otros dos máximos secundarios: el primero hacia los 11 años y el segundo, levemente más intenso, hacia los 15 años. El coeficiente de autocorrelacion de lag 1 es r1=0.05 no significativo al 99% resultando ser el espectro teórico el de ruido blanco de Markov.

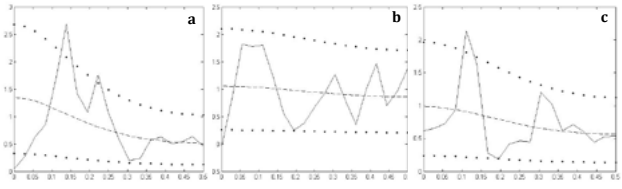


Figura 3. *Espectro de Tukey con ventana de Hamming para los distintos índices, continuo nulo (línea a trazos) de ruido blanco de Markov y niveles de significancia (línea punteada) al 90%. a)VN b) VS c) IR. Ordenada al origen,*

En la Figura 3c se muestra el espectro para el único índice regional de invierno (IR). Notamos un pico espectral, significativo al 90% de confianza alrededor de los 4-5 años. Otro pulso, aunque en este caso no significativo al 90%, aparece hacia los 11 años. Nuevamente el espectro teórico es de ruido blanco ya que el coeficiente de autocorrelación de lag 1 r1=0.11 no es distinto de cero para una significancia de α=0.01.

El análisis espectral muestra que tanto el verano como el invierno, la precipitación está modulada por ondas en escalas menores entre 3 y 6 años, cerca de 8 años, y 11 años. Las oscilaciones de menor frecuencia podrían estar asociadas a la variabilidad del Modo Anular del Sur (MAS) que también presenta ciclos similares y afecta la circulación de latitudes medias del cono sur de Sudamérica (Barrucand y otros 2008). Posiblemente sean estas oscilaciones las responsables de la coherencia en fase entre VN e IR. Por otro lado el cuasi-ciclo de 11 años solar podría estar jugando un rol dominante (Agosta 2004).

La precipitación en la RPA y la circulación troposférica de capas bajas

Para analizar exploratoriamente el comportamiento de la tropósfera baja en relación a la precipitación, se estimaron los mapas de correlación entre los índices VN, VS e IR con la altura de geopotencial en 850hPa (H850).

Para la subregión norte (con índice VN), durante el verano húmedo (seco) se observan áreas de correlación positiva (negativa) en latitudes altas sobre el Pacifico sudeste, acompañada por correlación negativa (positiva) hacia el norte; y otra área de correlación positiva (negativa) en latitudes medias del Atlántico sudoeste (Fig. 4 a). Para la situación húmeda, las condiciones del Pacifico favorecen un flujo de los oestes bloqueado y sobre la zona del Atlántico, el flujo de masa asociado a una actividad anticiclónica es desde el Atlántico hacia el continente, lo cual favorece el ingreso de húmeda hacia el norte de la región de estudio. La situación seca, se corresponde con un Anticiclón del Pacifico Sur intensificado y actividad ciclónica desplazada hacia altas latitudes que inhiben el ingreso de humedad desde el Atlántico hacia la parte norte de la RPA. Para la subregión sur (con índice VS), durante el verano húmedo (seco) se observan áreas de correlación positiva (negativa) hacia el sudeste del cono sur de Sudamérica, que se extienden hacia el Atlántico (Fig. 4 b). Esto implicaría actividad anticiclónica incrementada hacia el sur de Argentina que favorece el ingreso de humedad, o el flujo de masa de aire húmedo, desde el sudoeste del Atlántico hacia el sur de la región estudiada.

Las correlaciones con el índice IR, muestran valores altos en latitudes medias y altas de la cuenca del Pacifico con una estructura similar a la del VN, aunque ligeramente desplazado hacia el oeste (Fig. 4 c). Para un invierno húmedo (seco), se observan correlaciones positivas (negativas) sobre latitudes medias en la zona del Anticiclón del Pacifico Sur que se extienden hacia el Atlántico sobre la costa este de

la Patagonia; y correlaciones negativas (positivas) en las latitudes subpolares. Esto implica que un invierno húmedo se correspondería a una situación de bloqueo en el Pacífico sur y circulación anticiclónica en latitudes medias-altas sobre el Mar Argentino que favorecen el flujo de humedad desde el Atlántico. Durante el invierno seco, el sector de latitudes medias entre el Pacifico y el Atlántico estaría afectado por actividad ciclónica incrementada que atraviesa la Patagonia central.

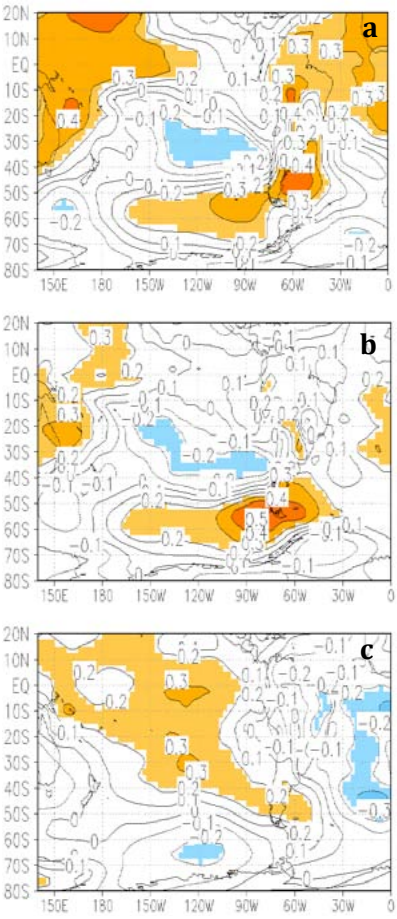


Figura 4. Mapa de correlación entre los distintos índices y H850. Fueron sombreados los valores significativos para $\alpha \leq 0{,}2$. *a) VN b) VS c) IR*

Relaciones con la temperatura superficial de los mares adyacentes

La Figura 5 muestra los mapas de correlación entre los índices de VN, VS e IR con las temperaturas superficiales del mar de la cuenca del Pacifico y del Atlántico, sombreados los valores cuya significancia es $\alpha \leq 0{,}2$. Un verano húmedo (seco) en la subregión norte, esta asociado con valores positivos (negativos) de correlación en el pacifico ecuatorial del este, extendiéndose entre 20ºS y 15ºN y valores negativos (positivos) hacia el sur en latitudes subtropicales del pacifico (Fig. 5a). Los mayores valores (superiores a 0.4) se observan al norte del Mar Argentino en la zona de confluencia de la corriente del Brasil y de Malvinas. El área del pacifico ecuatorial oriental parece vincular las precipitaciones en la subregión norte con procesos atmosféricos-oceánicos relacionados con el El Niño-Oscilación del sur (ENOS). Un patrón similar se observa para la subregión sur durante el verano, solo que el área de máxima correlación en el pacifico oriental se desplaza mas hacia el centro de la cuenca, con valores ligeramente menores (Fig. 5b). Las áreas de correlación positiva del lado del Atlántico se desplazan hacia más bajas latitudes. Esto estaría indicando posible vinculación con una fase intermedia del ENOS y la subregión sur de la RPA. Tanto para la subregión norte como para la subregión sur, las áreas de correlación positiva del Atlántico sudoeste, estarían asociadas a los distintos tipos de circulación atmosférica en esas latitudes que modulan la posición de la confluencia de las corrientes oceánicas calida del Brasil y fría de Malvinas (White 2004, Wainer et al. 2002). Para el invierno, en general, los valores de correlación son menores (Fig. 5c), los máximos valores se encuentran en latitudes medias y altas del Pacifico del sudeste y Atlántico del sudoeste cerca de la porción sur del continente. Estos valores estarían asociados a cambios de la circulación atmosférica de latitudes medias descriptos en la sección anterior.

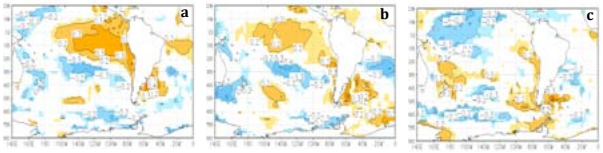


Figura 5. *Mapa de correlación entre los distintos índices y la SST. Fueron sombreados los valores significativos al 80%. a)VN b) VS c) IR*

Conclusiones

Según RCA99 la precipitación de la RPA, al norte de la Patagonia, durante el semestre calido (Octubre-Marzo) supera a la precipitación del semestre frío (Abril-Septiembre) en la sub-región norte. En cambio, para la sub-región sur, la precipitación es bastante regular a través del ciclo anual. En este trabajo, el análisis estadístico básico muestra que tanto para el invierno como para el verano los valores medios disminuyen de noreste a sudoeste al igual que los desvíos estándares. La distribución de frecuencias observadas de las anomalías de precipitación tanto para el verano como para el invierno tiende a mostrar una mayor ocurrencia de frecuencias negativas en el intervalo (-100; 0) en mm, con una ligera mayor probabilidad de ocurrencia de extremos positivos. Para el semestre cálido es posible dividir la región en dos subregiones, una norte y otra sur con diverso comportamiento interanual. La subregión norte, presenta oscilaciones en baja frecuencia en torno a 5 años y a 8 años, y la subregión sur, en torno a 2-4 años, 11 años y 15 años. Ambas subregiones estaban en fase coherente en baja frecuencia durante las primeras 2 décadas y desde mediados de los 1980s entran en contratase (Fig. 2). Durante el semestre frío, la RPA se comporta como una región uniforme en cuanto a la

variabilidad de la precipitación, con cuasi-ciclos significativos en torno a 4-5 años y 11 años. Tanto para el verano como para el invierno, estos procesos de baja frecuencia de la banda entre 3 y 6 años podrían estar relacionado al MAS y al cuasi-ciclo solar de 11 años. Sin embargo, es necesario un mayor análisis para confirmar estas hipótesis.

La circulación troposférica de capas bajas muestra relaciones distintas para la precipitación de verano en la subregión norte y la subregión sur. La diferencia más importante es que los centros de acción asociados a la precipitación en la subregión norte se localizan hacia latitudes medias sobre el Mar Argentino en torno a 40ºS, mientras que los asociados a la precipitación en la subregión sur se localizan hacia más altas latitudes. En general, actividad anticiclónica sobre la cuenca sudoeste del Atlántico próximo a Patagonia está asociada a mayor precipitación debido al ingreso de humedad desde el océano Atlántico hacia la zona de estudio, mientras que actividad ciclónica sobre las latitudes medias en torno a la Patagonia inhibe la precipitación de verano. Asimismo, del lado del Pacifico, la circulación troposférica asociada parece bloquear el flujo de los oestes. Para la precipitación de invierno, la circulación troposférica de capas bajas está más asociada a actividad transiente en latitudes medias con oestes más intensificados sobre el Pacifico Sur.

Cabe destacar que la precipitación de verano para la subregión norte estaría vinculada con la fase madura del ENOS y la subregión sur, con una fase intermedia de este proceso atmosférico-oceánico. Con todo, más estudios se requieren para confirmar dichas hipótesis.

Finalmente, es bien conocido que el ENOS modula la atmósfera en baja frecuencia a través de la propagación meridional de ondas planetarias barotrópicas que se propagan hacia latitudes medias y altas de Sudamérica. En este sentido, los resultados encontrados son alentadores para profundizar el estudio del comportamiento y el cambio entre invierno y verano de las ondas cuasi-estacionarias de la troposfera asociadas a la precipitación.

Agradecimientos

El trabajo fue realizado en el marco de los proyectos del CONICET PIP Nº5006, AGENCIA-MINCYT PICT-2007-00438 PESTRAMO BID, A0811 Proyecto bilateral: República Argentina (MINCYT) y el NRF de Sudáfrica y UBACYT 2008-2010. X224. PICT 2007 ICES-IDAC 01888 y UCA (PEPACG). Se agradece al personal del Servicio Meteorológico Nacional la pronta respuesta ante la solicitud de la información. También se agradece en todo sentido a O. Carm.

Bibliografía

- Agosta, E. A., Compagnucci, R.H., Vargas, M.W., 1999. Cambios en el Régimen Interanual de la Precipitación Estival en la Región Centro-Oeste Argentina. Meteorologica. , v.24, n.1 y 2, p.63 - 84, ISSN/ISBN: 0325187X.
- Agosta, E.A. (2004): Variabilidad del clima terrestre y rayos cósmicos galácticos durante el ciclo solar de 11 años: revisión teórica. Meteorologica. , v.29, n.1 y 2, p.47 – 62.
- Agosta, E. A., Compagnucci, R.H., 2006 Atmospheric Conditions During wet and dry summer extremes in Central-West Argentina. 8th International Conference of hte Southern Hemisphere Meteorology and Oceans, American Meteorological Society, Foz do Iguaçu, Brasil. Ses. 12: Understanding long-term climate variations in the SH. p.1439 – 1452. 10 pág.
- Agosta, E. A., Compagnucci, R.H. 2008. The 1976/77 Austral Summer Climate Transition Effects on the Atmospheric Circulation and Climate in southern South America. Journal of Climate. DOI: 10.1175/2008JCLI2137.1.
- Agosta, E. A., Compagnucci, R. H., 2008. Procesos atmosféricos/oceánicos de baja frecuencia sobre la cuenca sudoeste del Atlántico Sur y la variabilidad de la precipitación en el centro-oeste de Argentina, Geoacta, 33, 21-31.
- Agosta, E. A. y Cavagnaro, M. 2009, en prensa. Variaciones interanuales de la precipitación de verano y el rendimiento del cultivo de la vid en Mendoza. Revista Geoacta.
- Barros, V., Castañeda M. E., y Doyle, M., 2000. Recent precipitation trends in southern South America east of the Andes: An indication of climatic variability. Southern Hemisphere paleo and neo-climates, P. P. Smolka and W. Volkheimer, Eds., Springer-Verlag.
- Barrucand, M., Rusticucci, M., y Vargas, W. 2008. Temperature extremes in the south of South America in relation to Atlantic Ocean surface temperature and Southern Hemisphere circulation. J. Geophys. Res., 113, D20111, doi: 10.1029/2007JD009026.
- Canavos G. C.: Probabilidad y estadística: Aplicaciones y métodos, primera edición. Ed McGraw Hill 1988, 651pp.
- Gu, D.F. y Philander S. G. H. 1997. Interdecadal climate fluctuations that depend on exchanges between the tropics and extratropics. Science, 275:805-807.
- Hoffmann, J.A.J., 1992. The continental atmospheric pressure and precipitation regime of South America. Erdkunde 46, 40-51. Alemania.
- Kottek, M., Grieser J., Beck C., Rudolf B. y Rubel F., 2006. World Map of the Köppen-Geiger climate classification updated. Meteorol. Z., 15, 259-263. DOI: 10.1127/0941-2948/2006/0130.

- Krepper, C. M., Scian, B. V. y Pierini J. O. 1989. Time and space variability of rainfall in central-east Argentina. J of Climate, 2, 39-47.
- Minetti, J.L. y Vargas, W.M. 1998. Trends and Jumps in the annual precipitation in South America, south of the 15ºS. Atmósfera, 11, pp.205- 221. México.
- Minetti, J. L., Vargas, W. M., Poblete, A. G., Acuña, L. R. y Casagrande, G. 2003. Non linear trends and low frequency oscillations in annual precipitation over Argentina and Chile, 1931-1999. Atmósfera 16 pp. 119-135.
- Russian, G. R. Compagnucci y E. Agosta (2009): Variaciones Espacio-Temporales de la precipitación en Patagonia Norte. CONGREMET X, FLISMET XIII. Buenos Aires, 5-9 de Octubre 2009. 11 pág.
- Schwerdtfeger, W., 1951. Bases para el pronóstico a medio plazo de las condiciones de temperatura en el otoño de Buenos Aires. Revista Meteoros, Año I, nº1, pp 33-45.
- Schwerdtfeger, W. 1976. Climates of Central and South America. In World Survey of Climatology (Schwerdtfeger, W.; editor). Elsiever Scientific Publishing Company, p. 145. Amsterdam-Oxford-New York.
- Wainer I. y Venegas S.A. 2002: South Altantic Multidecadal Variability in the Climate System Model, Jou. Of Clim. 15, 1408-1420.
- White W.B. 2004: Comments on "synchhronous variability in the Southern Hemisphere Atmosphere, Sea, Ice and Ocean resulting from Annular Mode". Am. Met. Soc. 17, 2249-2254.
- Wilks, D.S. 2006. Statistical Methods in the Atmospheric Sciences, Elsevier, 628pp.

ASOCIACIÓN ARGENTINA DE TECNOLOGÍA NUCLEAR ÁREA TEMÁTICA RESIDUOS RADIACTIVOS. INVESTIGACIÓN Y TRANSFERENCIA DEL ICES SOBRE BIORREMEDIACION DE URANIO EN MALARGUE, MENDOZA.

Scotti, A. (1)
Meza, J. (2)
Lopez, S. (2)
Barbero, N. (1)
Salgan, L. (5)
Díaz Isenrath, G. (4)
Castaño-Gañan, A.R (1)
Ovando, E. (3)
Tucker, H. (3)
Ramires, A. (1)
Ojeda, C. (1)

(1) ICES Regional Malargue, adalgisascotti@icesmalargue.org
(2) Comisión Nacional de Energía Atómica, mezajc@cnea.gov.ar
(3) IES Instituto de Educación Superior N° 9018, historiaconito@yahoo.com.ar
(4) Instituto de Ciencias Básicas- Universidad Nacional de Cuyo-Malargue, gdiaz@infoar.net
(5) CRIDC Centro Regional de Investigación y Desarrollo Cultural, laurasalgan@hotmail.com

Palabras Claves

- hongos micorrizicos arbusculares
- Glomus intraradices
- Helianthus annus
- fitorremediación
- Uranio

Resumen

El trabajo experimental consiste en el desarrollo de 4 etapas que se mencionan a continuación:
El Helianthus annus (girasol) es una especie de demostrada capacidad de captación de Uranio (U) en sistemas hidropónicos y fue ampliamente utilizada en el modelo de rizofiltración de extracción de U de aguas subterráneas en Asthabula, Ohio, EEUU. El diseño del ensayo hidropónico consiste en 6 tratamientos y 4 repeticiones: testigos sin plantas con mínimo nivel de U, testigos con plantas sin U y 4 con distintos niveles de U (etapa1). El Glomus intraradices es un hongo micorrízico arbuscular utilizado en estrategias de fitoestabilización de U. El ensayo consiste en el cultivo de Glomus intraradices para determinar su traslocación y captación de U.

La inoculación del Glomus intraradices a Helianthus annus produce una simbiosis efectiva según el tipo de cepa y su diversidad genética, algunos genotipos son altamente apropiados para ello. Se han realizado experiencias de este tipo a nivel de investigación básica en varios países. En este trabajo se utiliza el sistema Helianthus-Glomus en suelo como fitoestabilizador ó rizofiltrador en una estrategia de biorremediación de U en la zona de Malargüe, Provincia de Mendoza (etapa3). Se pondrá en marcha una prueba piloto de plan de transferencia, que consiste en la creación de una huerta para el crecimiento del sistema Helianthus-Glomus (etapa4). Hasta la actualidad se ha avanzado en la siembra de Helianthus annus (etapa1) y en la determinación del genotipo de Glomus intraradices para ser inoculado en Helianthus annus con un 60% de efectividad en la unión, a saber AJ557008 D2VII (Schenk & Smith) (etapa 2).

Introducción

Uno de los problemas más señalados por la sociedad a nivel mundial, que ocupa un lugar prominente en los programas sociales y políticos es la de destacar la progresiva degradación de los recursos naturales causada por la gran diversidad de contaminantes tóxicos orgánicos e inorgánicos, en la atmósfera, agua, suelo y subsuelo, procedentes de diversas actividades naturales y antropogénicas, generando un irremediable deterioro en el ambiente (Jensen et al., 2000; Khan et al., 1997; Adriano, 1992; McNeill and Waring.,1992; Adriano, 1986).

Entre los contaminantes inorgánicos más nocivos para los seres vivos están los metales pesados derivados principalmente de actividades mineras (Khan et al., 1997; Chen et al., 1993; Alloway, 1990) que dan lugar a la pérdida irreversible de los recursos naturales por no ser biodegradables. Es necesario reducir los niveles de contaminación, minimizar los elevados costos de restauración de suelos y de agua contaminados, lo que representa un enorme reto para la humanidad (McEldowney et al., 1993). Con base en lo anterior existe la necesidad de desarrollar

nuevas alternativas que permitan recuperar los suelos altamente contaminados por metales pesados (Chaney et al., 2001; Comis, 1996; Cunninghan and Lee, 1995; Chaney, 1983). Actualmente existen estudios tendientes a resolver la contaminación originada por metales pesados en suelos, mediante estrategias basadas en el uso de plantas que tienen la propiedad de acumular metales pesados; proceso denominado "fitorremediación" que consiste en la remoción, transferencia, estabilización y/ó degradación y neutralización de compuestos orgánicos, inorgánicos y radioactivos que resultan tóxicos en suelos y agua. Esta definición incluye cualquier proceso biológico, químico o físico, inducido por las plantas, que ayude en la absorción, degradación y metabolización de los contaminantes, ya sea por las plantas mismas ó por los microorganismos que se desarrollan en la rizósfera (Kabatas-Pendias and Pendias, 2000; González, 1999; Kumar et al., 1995; Salt et al., 1995; Anderson and Coats, 1994; Baker et al., 1994; Raskin et al., 1994; Adriano, 1990).

El Helianthus annus (girasol) es una especie de demostrada capacidad de captación de Uranio (U) en sistemas hidropónicos y fue ampliamente utilizada en el modelo de rizofiltración de extracción de U de aguas subterráneas en Asthabula, Ohio, EEUU (Lopez et al., 2005, Dushenkov et al., 1997; Dushenkov. et al., 2003). Los hongos micorrízicos arbusculares son microorganismos que habitan el suelo y establecen una simbiosis de tipo mutualista con las raíces de una gran cantidad de plantas (Turnau., 2002; Dodd., 2000; Barea et al., 1997; Turnau, 1993). Con respecto a la importancia de la micorriza en la fitorremediación de suelos contaminados con metales pesados, se ha comprobado que esta simbiosis tienen un efecto benéfico, ya que inmoviliza los metales en la raíz reduciendo su translocación a la parte aérea de la planta y en consecuencia, el flujo de metales a la cadena trófica (Pawlowska et al., 2000; Del Val et al.,1999; Pawlowska et al.,1996; Barea et al., 1995; Leyval et al.,1995). En este trabajo se utiliza el sistema Helianthus-Glomus en suelo como fitoestabilizador ó rizofiltrador en una estrategia de biorremediación de U en la zona de Malargüe, Provincia de Mendoza. Se pondrá en marcha una prueba piloto de plan de transferencia, que consiste en la creación de una huerta y difusión de los avances alcanzados en el campo de la biorremediación.

El trabajo experimental se basa en el desarrollo de cuatro etapas: Etapa 1: el diseño del ensayo hidropónico consta de seis tratamientos y cuatro repeticiones: testigos sin plantas con mínimo nivel de U, testigos con plantas sin U y 4 con distintos niveles de U. Etapa 2: el ensayo consiste en el desarrollo del hongo en condiciones de cultivos de raíces de zanahoria (Daucus carota) con Agrobacterium rhizogenes. Se determina el genotipo adecuado para utilizar en etapa 2 y 3 en función de su capacidad para unirse al Helianthus annus (Chen et al., 2005; Croll et al., 2008; Rufyikini et al., 2002). Etapa 3: se implementa la inoculación en tierra de Glomus intraradices en Helianthus annus para determinar su traslocación y captación de U. Etapa 4: se pone en marcha una prueba piloto de plan de transferencia, que consiste en la creación de una huerta para el crecimiento del sistema Helianthus-Glomus y charlas de difusión de los avances alcanzados en el campo de la biorremediación.

Objetivos

- Detectar la capacidad de adsorción/absorción de Uranio en suelo utilizando el sistema Helianthus annus inoculado con Glomus intraradices.
- Difundir a nivel local los avances alcanzados en el campo de la biorremediación.

Materiales y Métodos

Características Ambiéntales del Área de Estudio: El presente estudio se realiza en el Departamento de Malargüe, Provincia de Mendoza (35º27'49.26" latitud Sureste y 69º34'57.74" longitud O y un altura de 1.470 msnm. El suelo presenta una textura limoarenosa y buena estructura. La temperatura media anual es 11 °C. La temperatura media del mes más cálido (enero), en todas las estaciones no supera los 22 ºC; mientras que la media del mes más frío (junio), está por encima de 4 ºC. Allí la amplitud térmica observada entre las temperaturas medias máximas y mínimas anuales es de 15 °C. La humedad relativa media anual tiene su máximo en 70%; mientras que la Mínima se registra en el mes de diciembre, con 47%. La heliofanía efectiva máxima se registra en enero, con 9,9 horas de luz, mientras que el registro mínimo se observa en el mes de junio con 4,1 horas de luz solar. La dirección predominante del viento es del Oeste, seguida de las direcciones Noreste y Suroeste. La velocidad promedio anual es de 5,4 km/h. La velocidad máxima alcanza los 8 km/h y se registra en el mes de noviembre, mientras que la mínima es de 3 km/h, produciéndose entre marzo y abril. Malargüe esta ubicada muy próxima a la zona de circulación de vientos semipermanentes del oeste, ya que se encuentra en la puerta de la Patagonia.

Etapa 1

Se toma una muestra de semillas de Helianthus annus para determinar su capacidad germinativa y luego se llevan partes iguales a los ensayos de siembra en hidroponía para estudiar la inoculación y de siembra en tierra para ver la adaptabilidad a las condiciones climáticas y edafológicas de la zona elegida para su desarrollo. Para la hidroponía las plántulas se transplantan en recipientes de cuatro litros de capacidad con solución nutritiva, aireada permanentemente. Este último es un

experimento que consiste en 6 tratamientos y 4 repeticiones:
Testigo sin plantas, con nivel mínimo de U (1000 ugU/l)
Testigo con plantas, sin U.
Cuatro niveles de U: 1000, 2000, 3000 y 5000 ugU/l, con plantas.
Se tomarán muestras de la solución hidropónica al inicio del ensayo y a 24, 72, 144, 215, 288 y 360 horas de incorporado el U.
Las plantas luego de su cosecha son separadas en parte aérea y raíces, secadas a 70 °C durante 24 hs, el material seco se muele y se pasa por malla de 2 mm, luego se realiza una digestión nítrica perclórica. En las muestras de la solución hidropónica y en los extractos de la parte aérea se determina el U.

Etapa 2

El cultivo de Glomus intraradices se hace en un medio de cultivo de raíces con Agrobacterium rhizogenes y Daucus carota. Como describe Leclerc et al., (1998) con las modificaciones del medio de cultivo Strullu-Romand (MSR) (Declerck et al., 1998; Strullu and Romand, 1986)
Luego de tres meses se observan al microscopio las esporas tomadas de la cápsula de Petri. La translocación de U se estudia analizando un compartimiento donde están las hifas (HC) y un compartimiento donde están las raíces (RC).
El U se agrega al medio MSR en concentración 0,1 uM en forma de nitrato de uranilo (IRMN-0,40 a Spike Isotopic Reference Material) adicionado con EC-JRC-IRMM (Mol, Belgium) con una actividad específica de 352 KBq α emisón/ mg y < de 0,009 KBq emisión $\beta\gamma$.
Se determina la captación de U en el HC como en el RC. El HC y el total de raíces del RC se mide por microscopía observando hifas y raíces, utilizando la fórmula de Newman (1966); se obtiene el total de esporas por cada placa de Petri.

Etapa 3

Se inocula el el hongo en tierra distribuida en macetas con conocido nivel de U, a los 15 días de su germinación se trasplanta el girasol. Luego de 40 días se determina el grado de unión radicular y la cantidad de esporas en microscopio, el contenido de U en raíces y parte aérea.

GRADO DE AVANCE Y RESULTADOS PARCIALES OBTENIDOS

Etapa 1: Se ha determinado el diseño experimental descrito en los materiales y métodos. El poder germinativo de las semillas de Helianthus annus fue del 76%, la prueba consistió en poner a germinar 100 semillas en un medio estéril, agua destilada y algodón esterilizado y al cabo de doce días se contó el total de semillas germinadas.

Se hizo una siembra a campo en una pequeña parcela de 112 m2, siendo la misma de cuatro hileras de 40 m. de largo y distanciadas a 0,70 m., con el propósito de conocer la adaptabilidad a las condiciones ambientales de Malargüe.

Etapa 2: Búsqueda bibliográfica y determinación del inoculo a utilizar, hallado en Schenk & Smith, AJ557008 D2VII.

Bibliografía

- Adriano, D. C. (1990). Bioengineering of Trace Metals. Advances in Trace Substances Research .Lewis, Boca Raton , Fl. 513.
- Adriano, D.C. (1992). Bioengineering of trace metals. Advances in Trace Substances Research Lewis Boca Raton 513.
- Alloway, B.J. (1990). Soil processes and the behaviour of metals. In: Heavy Metals in Soils. 7-28.
- Anderson T.A. and Coats J.R.(1994). Bioremediation Through Rhizosphere Technology. ACS Symposium Series No. 563. American Chemical Society, Washington DC, USA.
- Baker, A.J.M., McGrath, S.P., Sidoli,. C.M.D.y Reeves, R.D. (1994). Resources,Conversation and Recycling, 11:41.
- Barea, J.M., and P. Jeffries. (1995). Arbuscular mycorrhizas in sustainable soil plants systems, p. 521-559. In: B. Hock and A Varma (ed). Mycorrhiza structure, function, molecular biology and biotechnology. Springer-Verlag, Heidelberg, Germany.
- Barea, J.M., C. Azcón-Aguilar, y R. Azcón. (1997). Interactions between mycorrhizal fungi and rhizosphere microorganism within the context of sustainable soil-plant systems, p.65-77. In: A.C. Gange and V.K. Brown (ed), Multitrophic interactions in terrestrial systems. Cambridge, United Kingdom.
- Chaney, R. L., Mallik M., Li Y. M., Brown S.L., and Brewer E. P. (1997). Phytoremediation of soil metals. Curr. Opin. Biotechnol 8: 279-84.
- Chaney, R. L., Angle, S. J., and Baker, A. J.M. (2001). The phytomining of certain elements.
- Chen, Z.S. (1992). Metal contamination of flood soils, rice plants, and surface waters in Asia. In: Biogeochemistry of Trace Metals, Adriano. D.C. (ed) Lewis Publishers. 85-108.
- Chen, J. Cunningham, S.D., and Huang, J.W. (1997). Phytoremediaton of Soil L and Water Contaminants. 89-97.
- Chen, B., Christie, P., and Li, L. (2001). A modified glass bead compartment cultivation system for studies on nutrient and trace metal uptake by arbuscular mycorrhiza. Chemosphere 42, 185-192.118.
- Chen, B. D., Li, X. L., Tao, H. Q., Christie, P., and Wong, M. H. (2003). The role of arbuscular mycorrhiza in zinc uptake by red clover growing in calcareous soil spiked with various quantities of zinc. Chemosphere 50 (6), 839-846.
- Chen B.D, Jakobsen I, Roos P, Borggaard OK, and Zhu Y-G. 2005. Effects of the mycorrhizal fungus Glomus intraradices on uranium untake and accumulation by Medicago truncatula L. from yranium-contaminated soil. Plant and Soil 275: 349-359.
- Comis, D. (1996). Green remediation. Journal of soil and Water Conservation. 51, 184-187.
- Cunningham, S. D., and Lee, C. R. (1995). Phytoremediation: Plant-Based Remediation of Contaminated Soils and Sediments. In: Skipper, H. D., & Turco, R. F. (Ed)
- Bioremediation: Science and Applications. (pp 145-147). Wisconsin:

Soil Science Society of America., Inc., American Society of Agronomy, Inc., Crop Science Society of America, Inc.
- Croll D., Lucas W., Hannes A.G., Natarajan M., Peter J.L., Nicolas C., and Ian R.S. 2008. Genetic Diversity and host plant preferentes revealed by simple sequence repeat and mitochondrial markers in a population on the arbuscular mycorrhizal fungus Glomus intrarradices. New phytologist 178: 672-687.
- Dodd, J. C. (2000). The role of arbuscular mycorrhizal fungi in agro- and natural ecosystems. Outlook on Agriculture 29 (1): 55-62.
- Duschenkov, V., Kumar, N., Motto H., and Raskin, I. (1995). Rhizofiltration: The Use of Plants to Remove Heavy Metals from Aqueous Streams. Environmental Science and Technology 29, 1239-1245.
- Dushenkov, V.; Vasudev, D.; Kapulnik, Y.; Gleba, D.; Eliesher, D; Ting, K.; Ensley, B.; 1997. Removal of Uranium from Water Using Terrestrial Plants. Environm Sci, Technol., 31:3468-3474.
- Dushenkov, S. 2003. Trend in phytoremediation of radionuclides. Plan and Soil 249: 1467-175.
- González, M. J., and Hernández, L. M. (1999). Heavy Metal pollution in water, ediments, and earthworms from the Ebro River, Spain. Bolletin of Environmental Contamination & Toxicology. 63(3), 305- 311.
- Hernandez, R. (2004). Tesis Doctoral, Presencia de hongos micorrizicos arbusculares y contribución de Glomus intraradices en la absorción y traslocación de zinc y cobre en girasol (Helianthus annus L.) crecido en un suelo contaminado con residuos de mina. Universidad de Colima.
- Jensen, D.L., Holm, P. E., and Christensen, T. H. (2000). Soil and groundwater contamination with heavy metals at two scrap iron and metal recycling facilities. Waste Management & Research. 18 (1), 52- 63.
- Khan, A.G., and Chaudhry, T.M., Hayes, W.J., Khoo, C. S., Hill, L., Fernández, R., y Gallardo, P. (1997). Growth responses of endomycorrhizal onions in unsterilized coal waste. New Phytologist, 87: 363-370.
- Kumar, P.B.A.N., Dushenkov, V. Motto, H., and Raskin, I. (1995). Phytoextraction: The use of plants to remove heavy metals from soils. Environmental Science& Technology 29 (5): 1232 (7).
- Leyval, C., Singh, B.R., and Janer, E.J., (1995). Occurrence and infectivity of arbuscular mycorrhizal fungi in some Norwegian soils influenced by heavy metals and soil properties. Water, Air Soil Pollut. 83, 203-216.
- López C. S., Melaj M. A.; Tomellini G.; Martin O. Rizofiltración en el tratamiento de aguas contaminadas con Uranio. 2005. Ingeniería Sanitaria y Ambiental (80): p. 78-81.
- McEldowney, S., Hardman, D.J. and Waite, S. (1993). Pollution, Ecology and Biotreatment, 48-58.
- McNeill, K.R. and Waring, S. (1992). Vitrification of Contaminated soils. In: J.F. Rees (ed):Contaminated Land Treatment Technologies. Society of Chemical Industry, Elsevier Applied Science, London.
- Mentaberry A. 2008. Curso Agrobiotecnología, Fitorremediación Departamento de Fisiología, Biología Molecular y Celular. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. Universidad de Buenos Aires.
- Pawlowska, T.E., Blaszkowsi, J., and Ruhling, A. (1996). The mycorrhizal status of plants colonizing a calamine spoil mound in southern Poland. Mycorrhizae 6, 499-505.
- Pawlowska, T. E., Chaney, R.L., Chin, M. and Charvat, I. (2000). Effects of metal phytoextraction practices on the indigenous community of arbuscular mycorrhizal fungi at a metal contaminated landfill. Appl. Environ. Microbiol. 6, 2526-2530.130+996.
- Rufyikiri G., Yves T., Lian W., Bruno D., and Stèphane D. (2002). Uranium upteke and tralocation by the arbuscular mycorrihizal fungus, Glomus intraradices, under root-organ culture anditions.
- Salt, D.E., Blaylock, M., Kumar, PBAN., Viatcheslav, D., and Ensley, B. D. (1995). Phytoremediation: a novel strategy for the removal of toxic metals from the environment using plants. Bio-Technology 13, 468-74.
- Turnau, K., (1993). Mycorrhiza in toxic metal polluted sites. Wiadomosci Botaniczne 37, 43-59.
- Turnau, K, and Haselwandeter, K. (2002). Arbuscular mycorrhizal fungi: an essential component of soil microflora in ecosystem restoration. In: S. Gianinazi, H. Shuepp, J.M.

MODELO SUSTENTABLE DE PRODUCCIÓN DE BOVINOS EN PASTURAS NATURALES DE LA LLANURA DE MENDOZA, ARGENTINA.

Adalgisa del C. Scotti (1)
Juan C. Guevara (2)
Carlos R. Stasi (3)
Marta N. Paez (3)
Sergio A. Visciglia (3)
Mauricio J. Visciglia (3)
Marcela Guillén (1)

(1) International Center for Earth Sciences, Malargüe, Mendoza, Argentina. adalgisascotti@icesmalargue.org
(2) Instituto Argentino de Investigaciones de las Zonas Áridas (IADIZA- CCT CONICET Mendoza) y Facultad de Ciencias Agrarias, UN Cuyo. C.C. 507 (5500) Mendoza, Argentina. jguevara@mendoza-conicet.gov.ar
(3) Instituto Argentino de Investigaciones de las Zonas Áridas (IADIZA-CCT CONICET Mendoza.C:C. 507 (5500) Mendoza, Argentina

Palabras Claves

- inseminación artificial
- enzimoinmunoensayo
- radioinmunoensayo
- recurso forrajero disponible
- sistema de pastoreo

Resumen

Los ecosistemas de pasturas naturales están capturando la atención pública en función de la variedad de productos y servicios que proporcionan, entre ellos la producción animal. Los métodos conducentes a un manejo sustentable de los mismos constituyen un objetivo que debe ser considerado por la sociedad en su conjunto. Uno de esos métodos es la inseminación artificial (IA) que posee una serie de ventajas respecto del uso de toros. El trabajo se propuso dar a conocer los resultados obtenidos mediante la aplicación de la IA. La técnica usada para estimar la eficiencia de la IA se basó en la medición de la progesterona (P4) al día 0 (día de la I.A.) y después del día 21 de realizada la inseminación. Los métodos para la medición fueron Enzimoinmunoensayo (ELISA) y Radioinmunoensayo (RIA). Para llevar a cabo la técnica de ELISA en campo sin el lector de microcubetas se diseñó un método de dosaje semicuantitativo con dos niveles de intensidad de color azul y amarillo, asociados a diferentes concentraciones de P4. La correlación entre las mediciones semicuantitativas por ELISA y las cuantitativas por RIA proporcionaron un coeficiente de Pearson de 0,96 y un coeficiente de similaridad de Grower de 0,93 para la observación visual del color azul y el color amarillo en la técnica de ELISA. La parición con IA llegó al 75,0 % y con toro de repaso al 96,9%. Entre los factores condicionantes del éxito de la IA y de la evolución de los terneros hasta el destete se mencionan: carga animal, contenido de nutrientes del forraje, nutrición y estado de salud del rodeo, provisión de agua para bebida del ganado y sistema de pastoreo.

Introducción

Los ecosistemas de pasturas naturales están capturando la atención pública con un reconocimiento creciente de la variedad de productos y servicios que aquéllos proporcionan (15, citado por 2). Estos ecosistemas son reconocidos crecientemente como fuentes de agua, biodiversidad, recreación, hábitat de fauna silvestre, secuestro de carbono y sitios residenciales, además de productos ganaderos (2). Por ello es que los métodos conducentes a un manejo sustentable de los mismos constituyen en la actualidad un objetivo que debe ser tenido en cuenta en forma imperiosa por toda la sociedad.

Se considera que uno de esos métodos es la inseminación artificial (IA) que está difundida ampliamente en la ganadería Las ventajas de realizarla eficientemente permiten: disminuir considerablemente la cantidad necesaria de toros y eliminar del campo los machos peligrosos; mejorar rápidamente la genética del rodeo, incorporando las características de producción deseables. Además, el costo de la dosis de semen y de la mano de obra necesaria para la IA es menor que el mantenimiento de los toros en el establecimiento. Las dosis de semen se comercializan en pajuelas especiales para tal efecto en las que se controlan las principales enfermedades transmitidas durante la cópula, lo cual es un factor importante en el control de enfermedades venéreas. También permite mejorar el registro de producción de los animales y la concentración de celos logrando mayor uniformidad en las crías logradas (22).

El trabajo se propuso dar a conocer los resultados obtenidos

mediante la aplicación de la IA en bovinos que se encuentran en pasturas naturales y efectuar una síntesis de algunos de los factores que pueden influir sobre el éxito de la misma y la evolución posterior de los terneros obtenidos.

Materiales y métodos

Sitio de estudio

La IA se realizó en la Estación Experimental de Ganado y Pasturas Naturales El Divisadero (33º 45' S, 67º 41' O), en el centro norte de la llanura de Mendoza. Las temperaturas máximas medias varían entre 32,4º C en enero y 14,9º C en julio y las mínimas medias entre 16,0º C en enero y 0,9º C en julio. La lluvia media anual es de 308,7 ± 101,6 mm, 80% de la cual ocurre entre octubre y marzo. Los suelos han sido clasificados como Torripsamentes, con un mayor contenido de limo en las depresiones entre médanos. La vegetación es un arbustal xerofítico abierto de Prosopis flexuosa DC. Las gramíneas perennes de estación cálida dominan en el estrato herbáceo.

Técnicas para medición de progesterona

La técnica utilizada para la estimación de la eficacia de la IA se basó en el dosaje de la progesterona (P4) al día 0 (día de la inseminación artificial) y después de 21 días de realizada la IA, medida por ELISA y RIA (3, 28, 30).

A los efectos de poder realizar la técnica de ELISA en campo sin el lector de microcubetas, se diseño un método de dosaje semicuantitativo con tres escalas de colores denominadas: nivel A, nivel B y nivel C, correspondientes a intensidades de color fuerte, intermedio y débil, respectivamente, según los niveles bajo, intermedio y alto de P4. El modelo estadístico propuesto para determinar la variabilidad de la respuesta de P4 por RIA en relación a los colores azul y amarillo (P4 por ELISA) fue el siguiente:

$Ylijk = \mu + azi + am(az)j(j) + \xi(ij)k$, donde Y es la variable de respuesta que mide la progesterona por RIA, az el nivel de intensidad de color azul, am el nivel de intensidad de color amarillo de las observaciones por la técnica de ELISA y ξ el error debido a las determinaciones bioquímicas. Se realizó un ANAVA para determinar el efecto de cada componente del modelo propuesto en la variabilidad de la respuesta.

Los animales que presentaron al día 0 y después del día 21 valor de A fueron reinseminados (Re IA), mientras los que presentaron al día 0 valor de A y después del día 21 valor de C fueron considerados como posibles preñados (20, 31)

Inseminación artificial

Las inseminaciones artificiales fueron realizadas desde abril hasta junio del año 2007. En setiembre del 2007 se incorporó el toro de repaso. Entre abril y agosto de 2008 se realizó en forma mensual la observación de las vacas para su clasificación en: preñada, en lactancia o parida, el registro de peso y condición corporal. Esta última en una escala de 1 a 5. El toro utilizado para el repaso fue un reproductor que se obtuvo por IA, hijo de X INTA nacido en febrero del 2005 en la Estación Experimental de Ganado y Pasturas Naturales El Divisadero y totalmente adaptado a las condiciones ecológicas de la misma.

El método de sincronización de celos fue a través de la aplicación intramuscular de 1,5 ml de Prostaglandina F2alfa ($PGF2\alpha$) y la observación directa del celo visible (1, 4).

Resultados y discusión

Test de ELISA

En Tabla 1 se registran, para individuos seleccionados, las mediciones de P4 según diversos métodos: a) visualización de la intensidad de color azul; b) visualización de la intensidad del color amarillo y c) medición por RIA. Sobre la base de los resultados de a) y b) se determinó el coeficiente de similaridad de Gower y el coeficiente de Pearson sobre los resultados a) y c). Esta información corresponde a ensayos realizados durante el año 2005.

Individuo	*Fecha*	*ELISA azul*	*ELISA amarillo*	*RIA ng ml^{-1}*	*Cualitativo azul*	*Cualitataivo amarillo*	*Gower*
A	control	A	A	0	1	1	1
B	control	A	A	0,3	1	1	1
C	control	A	A	1,0	1	1	1
D	control	B	B	7,5	2	2	1
E	control	C	C	30,0	3	3	1
I	control	A	A	1,0	1	1	1
II	control	B	B	7,5	2	2	1
2	6-04	C	C	2,3	3	3	1
2	28-04	A	A	0,8	1	1	1
2	30-04	A	A	0,8	1	1	1
2	28-05	C	C	11,3	3	3	1
18	28-04	B	B	18,9	2	2	1
18	30-04	A	A	0,9	1	1	1
18	24-06	C	C	11,8	3	3	1
15	28-04	C	C	16,0	3	3	1
15	30-04	B	B	2,6	2	2	1
15	28-05	A	A	0,6	1	1	1
16	28-02	C	B	5,8	3	2	0
16	3-03	B	A	2,0	2	1	0
16	6-04	C	B	5,3	3	2	0
16	28-04	C	C	3,8	3	3	1
16	30-04	A	A	1,3	1	1	1
16	28-05	C	C	26,3	3	3	1
16	24-06	C	C	23,5	3	3	1
16	10-08	C	C	15,8	3	3	1

Tabla 1. Correlación entre las mediciones semicuantitativas por ELISA y las mediciones cuantitativas por RIA.

Coeficiente de Pearson: 0,96; Coeficiente de similaridad de Gower: 0,93.El coeficiente de Pearson indica una relación linear entre los resultados de RIA y los resultados de ELISA mientras que el coeficiente de similaridad de Gower indica la similitud entre la lectura de ELISA en color azul y el color amarillo.

En Tabla 2 se pone a prueba el modelo propuesto $Ylijk = \mu +$

azi + am(az)j (j) + ξ (ij) k

	Suma de cuadrados	*Grados de libertad*	*Cuadrados medios*	*F*	*P*
Modelo	511,18	1	511,18	32,69	0,0000
Azul	392,99	2	196,50	12,55	0,0000

Tabla 2. Análisis de la varianza, test univariado de significancia para RIA (descomposición tipo III).

Las dos variables incluidas en el modelo resultaron altamente significativas para medir la variabilidad de la respuesta por RIA.

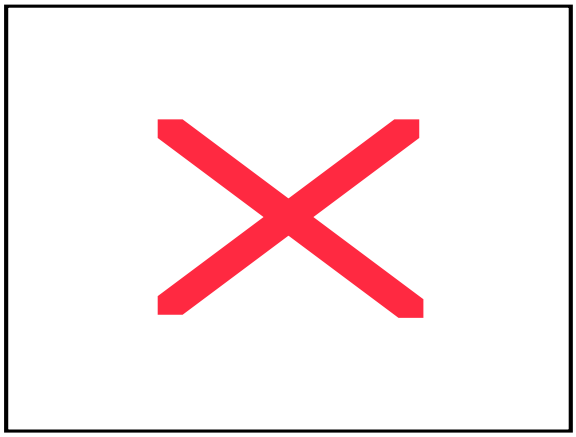


Figura 1. Test de Tukey para diferenciar la sensibilidad de la respuesta entre los niveles A, B y C de ELISA.

El test de Tukey indica que sólo es posible ver dos colores en la reacción: el A y el C dado que el intervalo de confianza del color B se superpone con el del color A, por lo que no hay diferencias significativas entre la apreciación de los colores A y B. Por ello en el análisis de la Figura 2 no se indica el nivel B aunque se encuentra registrado en la Tabla 1.

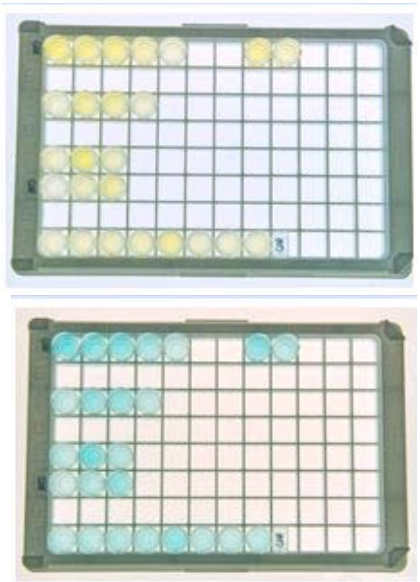


Figura 2. Fotografía de la reacción de ELISA en color amarillo y azul.

La Figura 2 permite observar la misma placa después y antes de la aplicación de la solución stop (HCl), es decir, en color amarillo y azul. También se observan los niveles A y C de intensidad de color.

En los casos descriptos a continuación se tiene en cuenta la aplicación intramuscular de la PGF2α cuando la P4 medida se encuentra en valores altos debido al efecto luteolítico de la PGF2α que desencadena la ovulación posterior (1, 29). La comparación entre la P4 medida en el momento de la inseminación (tiempo 0) y luego del día 21 post-inseminación permite estimar si el animal no quedó preñado. Valores bajos de P4 en tiempo 0 y luego del día 21 post-inseminación indicarían no preñez, mientras que valores altos de P4 post inseminación indicarían preñez.

La primera fila de pocillos corresponde al valor de la P4 en los standards y controles; la segunda fila de pocillos corresponde a la prueba realizada en la vaca 2. El primer pocillo desde la izquierda corresponde al valor previa inyección de PGF2α; los dos pocillos siguientes hacia la derecha corresponden a la medición de los niveles de P4 luego de la aplicación de PGF2α, momento en que se insemina; el último pocillo de la fila refleja la concentración de P4 a los 27 días post-inseminación indicando valores compatibles con preñez (21). La tercera fila de pocillos corresponde a la prueba realizada en la vaca 18. El primer pocillo desde la izquierda posee un nivel de P4 alto, luego se aplica PGF2α y el valor de P4 disminuye en el pocillo siguiente (1, 29). A los 54 días post-inseminación se verifica en el tercer pocillo un valor de P4 alto presentando un perfil hormonal compatible con preñez (21, 30).

La cuarta fila de pocillos corresponde a la prueba realizada en la vaca 15. El primer pocillo desde la izquierda posee un nivel alto de P4, el segundo pocillo indica el valor de P4 luego de la aplicación de PGF2α; el tercer pocillo corresponde a la medición de P4 al día 27 post inseminación artificial, perfil hormonal que está indicando que no hay preñez (1, 20, 29). La última fila corresponde a la prueba realizada en la vaca 16. El primer pocillo desde la izquierda corresponde al valor de P4 de nivel alto; el segundo pocillo arroja valores de nivel bajo de P4; el tercer pocillo tiene valores de P4 alto, se observa la ciclicidad de la P4; el cuarto pocillo tiene valores de P4 altos, momento en que se inyecta la PGF2α; el quinto pocillo corresponde a valores bajos por efecto de la PGF2α; el sexto pocillo indica el valor de P4 a los 27 días post-inseminación artificial, siendo un valor alto. A los 54 y 101días post-inseminación se observa en los pocillos séptimo y octavo valores altos de P4. Este perfil hormonal es compatible con preñez (3).

En la Tabla 3 se muestran las determinaciones de P4 sérica en campo para la inseminación realizada en abril-junio 2007 tanto al día 0 (día del celo y de la IA, identificada con la sigla P4 día 0) como al día 21-23 post-inseminación (identificada con la sigla P4 día 21).

Aquellos animales que presentaron valores en A en ambas fechas fueron reinseminados (RelA), mientras los que presentaron al día 0 valor de A y al día 21-23 presentaron valor de C fueron considerados como posibles preñados (3, 7).

Vaca	*P_4 día 0*	*P_4 día 21*	*Re IA*	*P_4 día 0*	*P_4 día 21*	*ΔP_4*
1	A	A	X	A	C	CP
2	A	C				CP
4	A	A	X	A	A	NP
6	A	C				CP
7	A	C				CP
8	A	A	X	A	C	CP
9	A	C				CP
10	A	A	X	A	C	CP
11	A	A	X	A	A	NP
12	A	C				CP
13	A	C				CP
15	A	A	X	A	A	NP
17	A	C				CP
18	A	A	X	A	C	CP
19	A	A	X	A	A	NP
20	A	C				CP
21	A	A	X	A	C	CP
23	A	C				CP
24	A	C				CP
25	A	C				CP
27	A	A	X	A	A	NP
29	A	A	X	A	C	CP
31	A	C				CP
32	A	C				CP
33	A	C				CP
34	A	C				CP
35	A	A	X	A	A	NP
36	A	C				CP
37	A	C				CP
38	A	C				CP
39	A	C				CP
46	A	A	X	A	A	NP

Tabla 3. Resultados de ELISA en la inseminación efectuada en abril-junio de 2007.

Las columnas quinta y sexta corresponden a los valores semicuantitativos de P4 medidos por ELISA en la etapa de la Re IA.La última columna corresponde a la diferencia de P4 y su significancia siendo el resultado CP compatible con preñez o NP compatible con no preñez.

El porcentaje de resultados hormonales compatibles con preñez después de la IA fue del 78%.

Vaca	*Observación mayo*	*Peso (kg)*	*Condición corporal*	*Lactancia mayo*	*Observación junio*	*Condición corporal*	*Lactancia julio*	*Lactancia agosto*
1	Parida	475	2,75	X	Vacía	2,25	X	X
2	Parida	360	2,50	X	Vacía	2,50	X	X
4	Vacía	435	2,75		Vacía	2,75		
6	Parida	370	2,50	X	Vacía	2,50	X	X
7	Parida	350	2,50	X	Vacía	2,50	X	X
8	Parida	410	2,50	X	Vacía	2,50	X	X
9	Parida	425	2,25	X	Vacía	2,25	X	X
10	Parida	320	1,75	X	Vacía	2,00	X	X
11	Preñada	395	2,25		Preñada	2,25	X	X
12	Parida	335	1,75	X	Parida	2,00	X	X
13	Parida	350	2,25	X	Vacía	2,00	X	X
15	Preñada	420	2,75		Preñada	2,75	X	X
17	Parida	390	2,00	X	Vacía	2,00	X	X
18	Parida	370	2,50	X	Vacía	2,50	X	X
19	Preñada	320	2,00		Preñada	2,25		
20	Parida	315	2,00	X	Vacía	2,00	X	X
21	Parida	280	2,00	X	Vacía	2,00	X	X
23	Parida	415	2,50	X	Vacía	2,50	X	X
24	Parida	432	2,75	X	Vacía	2,50	X	X
25	Parida	360	2,75	X	Vacía	2,50	X	X
27	Parida	415	2,75	X	Vacía	2,25	X	X
29	Parida	355	2,25	X	Vacía	2,00	X	X
31	Preñada	367	2,25		Preñada	2,50		
32	Parida	385	2,25	X	Vacía	2,00	X	X
33	Parida	355	2,25	X	Vacía	2,00	X	X
34	Parida	350	2,25	X	Vacía	2,00	X	X
35	Preñada	475	2,75		Preñada	2,75		X
36	Preñada	345	2,50		Preñada	2,25	X	X
37	Parida	375	2,25	X	Vacía	2,25	X	X
38	Parida	300	2,75	X	Vacía	2,50	X	X
39	Parida	350	2,50	X	Vacía	2,25	X	X
46	Preñada	310	2,75		Preñada	2,75		X

Tabla 4. Seguimiento de parámetros observados desde abril hasta agosto del 2008 en las vacas inseminadas en mayo–junio de 2007.

Las observaciones correspondientes al mes de mayo se consideraron decisivas para la clasificación de los animales como preñados por IA y preñados por toro. Se consideraron preñados por IA los animales que al mes de mayo ya habían parido. Éstos se registraron como “paridos” y se verificó en ellos la lactancia el 24 de mayo. Aquellos animales que estaban preñados en mayo y continuaban preñados en junio se consideraron preñados con toro de repaso. Los criterios mencionados se resumen en la Tabla 5.

Vacas inseminadas	Preñez IA	Preñez con toro de repaso	Observaciones
1	X		
2	X		
4			IA negativa
6	X		
7	X		
8	X		
9	X		
10	X		
11		X	ΔP4 no preñez
12	X		
13	X		
15		X	ΔP4 no preñez
17	X		
18	X		
19		X	ΔP4 no preñez
20	X		
21	X		
23	X		
24	X		
25	X		
27	X		
29	X		
31		X	Aborto IA ¿?
32	X		
33	X		
34	X		
35		X	ΔP4 no preñez
36		X	Aborto IA ¿?
37	X		
38	X		
39	X		
46		X	ΔP4 no preñez
Total 32	24	7	1
Porcentaje (%)	75	96,9	

Tabla 5. Registro de preñez por inseminación artificial y por toro de repaso. El símbolo ΔP4 indica la diferencia entre P4 día 0 y P4 día post-21.

El porcentaje de parición con inseminación artificial fue del 75,0 % y con toro de repaso se alcanzó el 96,9 %. Las vacas 31 y 36 arrojaron valores de P4 al día post-21 IA como indicadoras de preñez pero tuvieron su parición en los meses que corresponden a pariciones con toro de repaso, por este motivo se sospecha una posible situación de aborto de la I A.

Factores condicionantes del éxito de la inseminación artificial

1. Carga animal

La carga animal apropiada es generalmente el aspecto más importante para lograr un manejo exitoso de las pasturas naturales. En efecto, muchos investigadores han comprobado la importancia de una carga animal correcta para lograr una productividad sostenida de las pasturas naturales (18). Por otro lado, la carga animal constituye el factor principal que influye sobre el rendimiento animal y los resultados económicos de las empresas ganaderas (16). En definitiva, la carga animal debe estar en concordancia con la receptividad estimada para un determinado sitio.

El método propuesto para estimar la receptividad (ha UA-1) de las pasturas naturales de la llanura mendocina (13) tuvo en cuenta los siguientes aspectos:

a) Lluvia anual confiable, es decir, la que posee una probabilidad de ocurrencia del 80% (24, 25).

b) Producción de forraje: se estableció sobre la base del factor de eficiencia de uso de las precipitaciones, expresado en kg de materia seca (MS) ha-1 año-1 mm-1.[1]

c) Forraje disponible para el ganado: 80% de la producción anual para las forrajeras herbáceas (el resto por lo general no está disponible para el ganado por estar ubicado debajo de especies espinosas). Para las especies forrajeras leñosas se consideró que el 50% de la producción anual está disponible para los bovinos y el resto se encuentra por encima de la altura (1,5 m) a la que los animales tienen acceso (26).

d) Forraje consumible por el ganado: en pasturas con forrajeras herbáceas perennes y bajo condiciones de carga animal apropiada, el 30% del forraje disponible puede ser considerado como consumible por los animales (23) en lugar del 40-50% que era usado hasta hace algunos años.

e) Consumo de forraje: se estableció para una unidad animal en 3.650 kg de MS por año (2,5 kg de MS por cada 100 kg de peso vivo).

2. Contenido de nutrientes de los recursos forrajeros

Los estudios realizados en otras áreas del mundo indican que niveles de proteínas y/o energía inadecuados para satisfacer los requerimientos de los bovinos pueden ocurrir frecuentemente en las pasturas naturales (6, 14, 19). Para la llanura de Mendoza se ha encontrado que los niveles de proteína y energía de las principales gramíneas perennes permitirían la realización de un sistema de cría de bovinos sin limitaciones nutricionales siempre que la parición ocurra en noviembre o diciembre y la disponibilidad de forraje permita un pastoreo selectivo. Si la parición ocurre en otros meses, sería necesaria una suplementación del forraje disponible (10).

En relación con los recursos forrajeros existentes en la llanura de Mendoza resulta importante destacar la relevancia de las forrajeras leñosas que en la estación seca (abril-setiembre) componen casi el 50% de la dieta de los bovinos. Las especies leñosas más importantes resultaron Hyalis argentea D. Don ex Hook. Arn. var. latisquama (29% de la dieta) y Capparis

1 Se ha considerado una unidad animal (UA) a una vaca de 400 kg de peso vivo o su equivalente.

atamisquea Kuntze (11%) (12).
En la Figura 3 se observa que las especies leñosas poseen mayor contenido de proteína bruta que las gramíneas perennes durante todo el año (10, 32). Por otro lado, los porcentajes más altos en ambas especies se corresponden con la estación lluviosa.

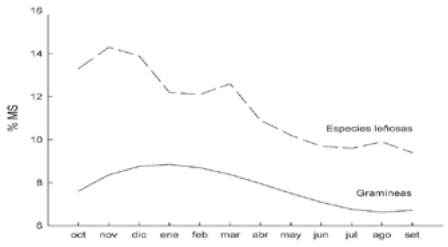


Figura 3. Contenido medio de proteína bruta (% MS) del forraje disponible para el ganado en el área centro norte de la llanura de Mendoza.

3. Nutrición y estado de salud del rodeo bovino

Las mediciones bioquímicas y hematológicas que se realizaron en la llanura de Mendoza en ganado de las razas Aberdeen Angus y Criollo Argentino (8) no identificaron en forma clara ninguna restricción nutricional. Los resultados de las determinaciones de albúmina y proteínas indicaron que la proteína dietaria no era limitante. Alrededor del 8% de los animales podría haber presentado enfermedades inflamatorias crónicas. El fósforo podría ser una restricción potencial importante para la fertilidad aunque no se observó presencia de síntomas de hipofosfatemia. El estudio también demostró la ausencia de anemia o enfermedades del hígado.

4. Provisión de agua para bebida del ganado

El uso de las pasturas naturales decrece con la distancia desde el punto de provisión de agua para bebida (18). Para bovinos, Holechek (17) sugirió no efectuar reducciones en la carga animal para las zonas ubicadas hasta 1,6 km desde el punto de provisión de agua, una reducción del 50% para la zona comprendida entre 1,6 y 3,2 km desde el agua y que la zona que se encuentra más allá de 3,2 km debe ser considerada no utilizable por el ganado. Un estudio posterior (5) apoyó dichas recomendaciones.

Se evaluaron los cambios en la cobertura de las especies forrajeras y del suelo desnudo cuando la vegetación fue expuesta a niveles crecientes de intensidad de pastoreo por bovinos en condiciones de carga animal conservadora (11). Los resultados (Figura 4) indican que las distancias desde el agua entre 2,7 y 3,5 km se caracterizaron por una cobertura alta de gramíneas forrajeras mientras que el suelo desnudo y los arbustos forrajeros y no forrajeros estuvieron asociados con distancias de hasta 0,9 km.

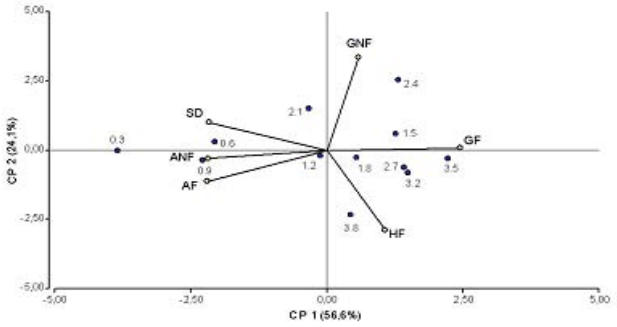


Figura 4. Gráfico biplot que agrupa las variables de cobertura vegetal y distancias a la aguada con respeto a los dos primeros ejes del análisis de componentes principales.

5. Sistema de pastoreo

Persuadidos de las ventajas de los sistemas de pastoreo rotativo en cuanto a incremento de la producción vegetal y animal, en el sitio en que se realizó la inseminación artificial se instaló en la década del 90 un sistema de pastoreo rotativo de cuatro potreros y un rodeo. En el mismo, tres potreros se utilizan durante cuatro meses cada uno aproximadamente y el cuarto permanece en descanso durante todo el año (Figura 5). La fecha de entrada de los animales a cada uno de los potreros varía en forma anual, es decir, el potrero que se utilizó, por ejemplo, entre enero y abril en el primer año se pastorea al año siguiente a partir de mayo (27).

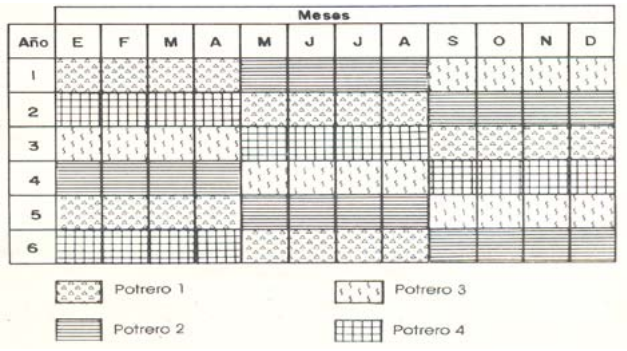


Figura 5. Esquema de utilización de uso de potreros en el sistema de cuatro potreros y un rodeo.

Mediante la aplicación de este sistema de pastoreo y de una carga animal conservadora (25 ha UA-1) se ha obtenido un incremento del 200% en la eficiencia económica de la tierra en comparación con el sistema de producción tradicional de gastos operativos, inversiones y manejo bajos (9). Sin embargo, las comparaciones entre experiencias de pastoreo continuo durante todo el año y pastoreo rotativo que se realizaron en numerosos ecosistemas de pasturas naturales del mundo, principalmente de EE.UU. y Sudáfrica (2) indicaron lo siguiente: a) la producción vegetal fue igual o mayor en el pastoreo continuo que en el rotativo en el 87% (20 de 23) de las experiencias analizadas; b) la producción animal por

cabeza y por unidad de superficie fueron iguales o mayores en el pastoreo continuo que en el rotativo en el 92% (35 de 38) y 84% (27 de 32) de las experiencias que se tuvieron en cuenta, respectivamente. La evidencia experimental indica que el pastoreo rotativo es una estrategia de pastoreo viable en las pasturas naturales, pero la percepción que ella es superior al pastoreo continuo no es apoyada por la gran mayoría de las investigaciones experimentales. No existe evidencia consistente o abrumadora que demuestre que el pastoreo rotativo simula procesos ecológicos para mejorar la producción vegetal y animal comparada con la del pastoreo continuo. Algunos investigadores (2) recomiendan que estas conclusiones basadas en la evidencia sean explícitamente incorporadas en las decisiones de política y manejo dirigidas al uso predominante de la tierra en las pasturas naturales.

Conclusiones

El modelo sustentable de producción de bovinos en la llanura de Mendoza, que incluyo a la inseminación artificial con complemento de laboratorio, resultaría exitoso siempre que se tengan en cuenta una serie de factores relacionados con la carga animal, el recurso forrajero disponible, la provisión de agua para bebida del ganado y el sistema de pastoreo.

Agradecimientos

A la Secretaría de Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva de la Argentina que financió el PID 23.189, Concurso 2004.

Bibliografía

- Breeveld-Dwarkasing, V.N.A.; Struijk, P.C.; Lotgering, F.K.; Eijskoot, F.; Kindahl, H.; van der Weijden, G.C.; Taverne, M.A.M. 2003. Cervical dilatation related to uterine electromyographic activity and endocrinological changes during Prostaglandin F2 -induced parturition in cows. Biol. Reprod. 68: 536-542.
- Briske, D.D.; Derner, J.D.; Brown, J.R.; Fuhlendorf, S.D.; Teague, W.R.; Havstad, K.M.; Gillen, R.L.; Ash, A.J.; Wilms, W.D. 2008. Rotational grazing on rangelands: Reconciliation of perception and experimental evidence. Rangeland Ecol. Manage. 61: 3-17.
- Comin, A.; Renaville, B. ; Marchini, E. ; Maiero, S.F. ; Cairoli, F. ; Prandi, A. 2005. Direct enzyme immunoassay of progesterone in bovine milk whey. J. Dairy Sci. 88: 4239-4242.
- Dieleman, S.J.; Bevers, M.M. 1987. Effects of monoclonal antibody against PMSG administered shortly after the preovulatory LH surge on time and number of ovulations in PMSG/PG-treated cows. J. Reprod. Fertil. 81: 533–542.
- Fusco, M.; Holechek, J.; Tembo, A.; Daniel, A.; Cárdenas, M. 1995. Grazing influences on watering point vegetation in the Chihuahuan desert. J. Range Manage. 48: 32-38.
- González, C.L; Everitt, J.H. 1982. Nutrient content of major food plants eaten by cattle in the South Texas Plains. J. Range Manage. 35: 733-736.
- Grimard, B.; Freret S.; Chevallier A.; Pinto, A.; Ponsart A.; Humblot P. 2006. Genetic and environmental factors influencing first service conception rate and late embryonic/foetal mortality in low fertility dairy herds. Anim. Reprod. Sci. 91:31–44.
- Grünwaldt, E.G.; Guevara, J.C.; Estevez, O.R.; Vicente, A.; Rousselle, H.; Alcuten, N.; Aguerregaray, D.; Stasi, C.R. 2005. Biochemical and haematological measurements in beef cattle in Mendoza plain rangelands (Argentina). Trop. Anim. Health Prod. 37: 527-540.
- Guevara, J.C.; Cavagnaro, J.B.; Estevez, O.R.; Le Houérou H.N.; Stasi, C.R. 1997. Productivity, management and development problems in the arid rangelands of the central Mendoza plains (Argentina). J. Arid Environ. 35: 575-600.
- Estevez; O.R.; Silva, J.H.; Marchi, A. 1991. Adequacy of native range grasses to meet protein and energy beef cow requirements in the plain of Mendoza, Argentina. In: Gaston, A.; Kernick, M.; Le Houérou, H.N. (Eds.), Proc. of the 4th Intern. Rangeland Cong. CIRAD (SCIST). Montpellier. France. p. 696-699.
- Estevez, O.R.; Stasi, C.R. 2006. Respuesta de la vegetación en un gradiente de intensidad de pastoreo en Mendoza, Argentina. Multequina 15: 27-36.
- Estevez, O.R.; Stasi, C.R.; Monge, A.S. 1996. Botanical composition of the seasonal diet of cattle in the rangelands of the Monte Desert of Mendoza, Argentina. J. Arid Environ. 32: 387-394.
- Estevez, O.R.; Torres, E.R. 1995. Receptividad de las pasturas naturales de la llanura de Mendoza. Multequina 4: 29-35.
- Hakkila, M.D.; Holechek; J.D., Wallace, J.D.; Anderson, D.M.; Cárdenas, M. 1987 Diet and forage intake of cattle on desert grassland range. J. Range Manage. 40: 339-342.
- Havstad, K.M.; Peters, D.P.C.; Skaggs, R.; Brown, J.; Bestelmeyer, B.; Fredickson, E.; Herrick, J.; Wright, J. 2007. Ecological services to and from rangelands of the United States. Ecol. Econ. 64: 261-268.
- Heitschmidt, R.K.; Conner, J.R.; Canon, S.K.; Pinchak, W.E.; Dowhower, S.L. 1990. Cow/calf production and economic returns from yearlong continuous, deferred rotation and rotational grazing treatments. J. Prod. Agr. 3: 92-99.
- Holecheck, J.L. 1988. An approach for setting the stocking rate. Rangelands 10: 10-14.
- Pieper, R.D. 1992. Estimation of stocking rate on New Mexico rangelands. J. Soil and Water Cons. 47: 116-119.
- Vavra, M.; Skovlin, J. 1981. Diet quality and performance of cattle on forest and grassland range. J. Anim. Sci. 53: 291-298.
- Humblot, P. 2001. Use of pregnancy specific proteins and progesterone assays to monitor pregnancy and determine the timing, frequencies and sources of embryonic mortality in ruminants. Theriogenology 56: 1417 - 1433.
- Camous, S.; Martal, J.; Charlery, J.; Jeanguyot, N.; Thibier, M.; Sasser, R.G.J. 1988. Pregnancy specific protein B, progesterone concentrations and EM during early pregnancy in dairy cows. J. Reprod. Fertil. 83: 215–223.
- Joint FAO/IAEA Programme. 2009. Artificial insemination (AI) in cattle (http://www-naweb.iaea.org/nafa/aph/resources/technology-ai.html).
- Kothmann, M.M. 1992. Nutrition for livestock grazing rangelands

and pasturelands. In: Howard, J.L. (Ed.), Current Veterinary Therapy 3: Food Animal Practice, pp. 285-293. W.B. Saunders Co. Philadelphia. EE.UU.

- Le Houérou, H.N. 1989. The grazing land ecosystems of the African Sahel. Ecological Studies 75. Springer-Verlag. Heilderberg. Alemania. 282 p.
- Le Houérou, H.N. 1990. Bioclimatologie comparative des zones arides de l'Afrique et de l' Amerique Latine. Terra Arida 7: 26-55.
- Le Houérou, H.N. 1993. Grasslands of the Sahel. In: Coupland, R.T. (Ed.), Natural Grassland, Eastern Hemisfere and Résumé. Ecosystems of the World, Vol. 8 B, pp. 197-220. Elsevier Science Publisher. Amsterdam. Netherlands.
- Marchi, A.; Guevara, J.C.; Borsetto, O.; Estevez, O.R.; Stasi, C.R.; Candia, R.J.; Silva, J.H.; Oriente, E.L. 1991. La cría de bovinos en el centro de la llanura de Mendoza. Boletín de Información Técnica Nº 1. IADIZA. Mendoza. 29 p.
- Nebel, R.L.; Whittier, W.D.; Cassell, B.G.; Britt, J.H. 1987. Comparison of on-farm and laboratory milk progesterone assays for identifying errors in detection of estrus and diagnosis of pregnancy. J. Dairy Sci. 70: 1471-1476.
- Semambo, D.K.N.; Eckersall, P.D.; Sasser, R.G.; Ayliffe, T.R. 1992. Pregnancy-specific protein B and progesterone in monitoring viability of the embryo in early pregnancy in the cow after experimental infection with Actinomyces pyogenes. Theriogenology 37: 741–748.
- Stabenfeldt, G.H.; Osburn, B.I.; Ewing, L.L. 1970. Peripheral plasma progesterone levels in the cow during pregnancy and parturition. Am. J. Physiol. 218: 571-575.
- Szenci, O.; Humblot, P.; Beckers, J.F.; Sasser, G.J.; Sulon, J.R.; Baltusen, R. ; Varga, J.; Bajcsy, C.S.A.; Taverne , M.A.M. 2000. Plasma profiles of progesterone and conceptus proteins in cows with spontaneous embryonic/fetal mortality as diagnosed by ultrasonography. Vet. J. 159: 287-290.
- Van den Bosch, S.; Guevara, J.C.; Tacchini, F.M.; Estevez, O.R. 1997. Nutrient content of browse species in the arid rangelands of the Mendoza plain (Argentina). J. Arid Environ. 37: 285-298.

PALINOMORFOS CARACTERISTICOS DE LA FORMACION LOS ALAMITOS (CAMPANIANO SUPERIOR-MAASTRICHTIANO), PROVINCIA DE RIO NEGRO, ARGENTINA – ESPORAS LEVIGADAS, APICULADAS Y MÁSULAS DE HELECHOS HETEROSPORADOS.

Eliseo G. Sepúlveda (1)
Oscar H. Papú (2)
(1) Servicio Geológico Minero Argentino-Delegacion Mendoza, Fac. Ingeniería UNCuyo y CONICET, Av España 1419/25 - Piso 8º - M 5500 DWB - MENDOZA, Argentina. eliseosepulveda@yahoo.com.ar
(2) Servicio Geológico Minero Argentino-Delegacion Mendoza, Av España 1419/25 - Piso 8º - M 5500 DWB - MENDOZA, Argentina. ohpapu@yahoo.com.ar

Palabras Claves
- Cretácico Superior
- Campaniano
- Formación Los Alamitos
- Río Negro
- Montoniló
- Sistemática

Resumen
Se describen las especies de esporas levigadas y apiculadas presentes en la Formación Los Alamitos (Campaniano Tardio – Maastrichtiano Tempranol) de la localidad de Montoniló en el departamento 25 de Mayo, provincia de Río Negro. Ellas son, de la INFRATURMA LAEVIGATI: Deltoidospora minor (Couper) Pocock 1970, Deltoidospora sp. B en Papú 1988, Deltoidospora australis (Couper) Pocock 1970, Dictyophyllidites mortoni (De Jersey) Playford & Dettmann 1965, Biretisporites crassilabratus Archangelsky 1972, Biretisporites sp., Concavisporites sp.,Todisporites cf. minor Couper 1958, Stereisporites antiquasporites (Wilson & Webster 1946) Dettmann 1963, Waltzispora cf. lobofora (Waltz) Staplin 1960, Azolla (Euazolla) cretacea Stanley 1965 y Grapnelispora loncochensis Papú 1997. De la INFRATURMA APICULATI: Concavissimisporites cf. penolaensis Dettmann 1963, Leptolepidites cf. verrucatus Couper 1953, Osmundacidites sp., Granulatisporites sp., Baculatisporites sp., Verrucosisporites sp., Converrucosisporitres sp., Apiculatisporis sp., Rugulatisporites cf. mallatus Stover 1973, Rugulatisporites sp., Neoraistrichia truncata (Cookson) Potonié 1956, Neoraistrichia sp. (en Archangelsky 1973), Herkosporites ellioti Stover 1973. Dada la asociación presente se asigna una edad campaniana tardia-maastriana temprana, cuyo ambiente de depositación se postula como húmedo con cuerpos de agua lénticas a pantanosas.

Introducción

En este trabajo se dan a conocer las descripciones sistemáticas de las especies de esporas levigadas y apiculadas más características del período comprendido entre el Campaniano y Maastrichtiano hallados en la Formación Los Alamitos localidad de Montoniló departamento 25 de Mayo provincia de Río Negro, Argentina. En un trabajo previo (Papú y Sepúlveda 1995), se adelantaron resultados de las investigaciones palinoestratigáficas de esta unidad. Asimismo se describen e ilustran las formas menos conocidas o aquellas a las que no se las pudo asignar a una determinada especie o se las determinó con dudas; los restantes palinomorfos se ilustran, además de dar sus dimensiones, distribución estratigáfica y afinidad botánica si se conocen.

Las muestras provienenen de una secuencia de unos 50 m de areniscas y pelitas con intercalaciones de yeso. El perfil muestreado infrayace a los depósitos marinos de La Formación Coli Toro los que a su vez están cubiertos por la Formación Roca. El contacto, en esta localidalld, no ha sido posible observarlo dado que esa parte de la sucesión sedimentaria se encuentra profusamente cubierto por depósitos de remoción en masa ya sea de las calizas de la Formación Roca o de los basaltos que coronan la meseta.

Esta localidad se encuentra a unos 40 Km al este de Ing. Jacobacci en el flanco suroeste de la meseta de Coli Toro (Fig. 1). La base se apoya en concordancia sobre las limoarcilitas y areniscas de tonos rojizos a violáceos de la Formación Angostura Colorada.

Una sección columnar de la Formación Los Alamitos con los puntos de muestreo se presentan en la Fig. 2.

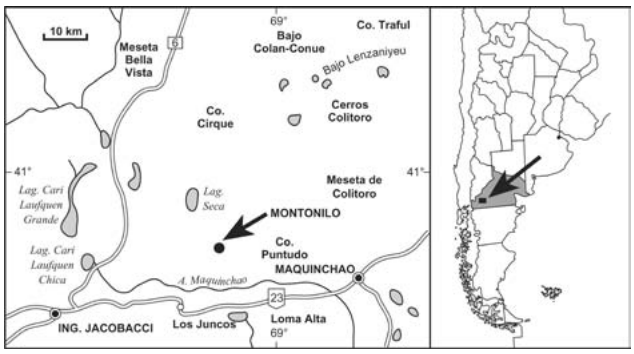


Fig 1: Mapa de ubicación del perfil levantado en la localidad Puesto La Rinconada, Estancia María Luisa, Paraje Montonilo. Río Negro Argentina.

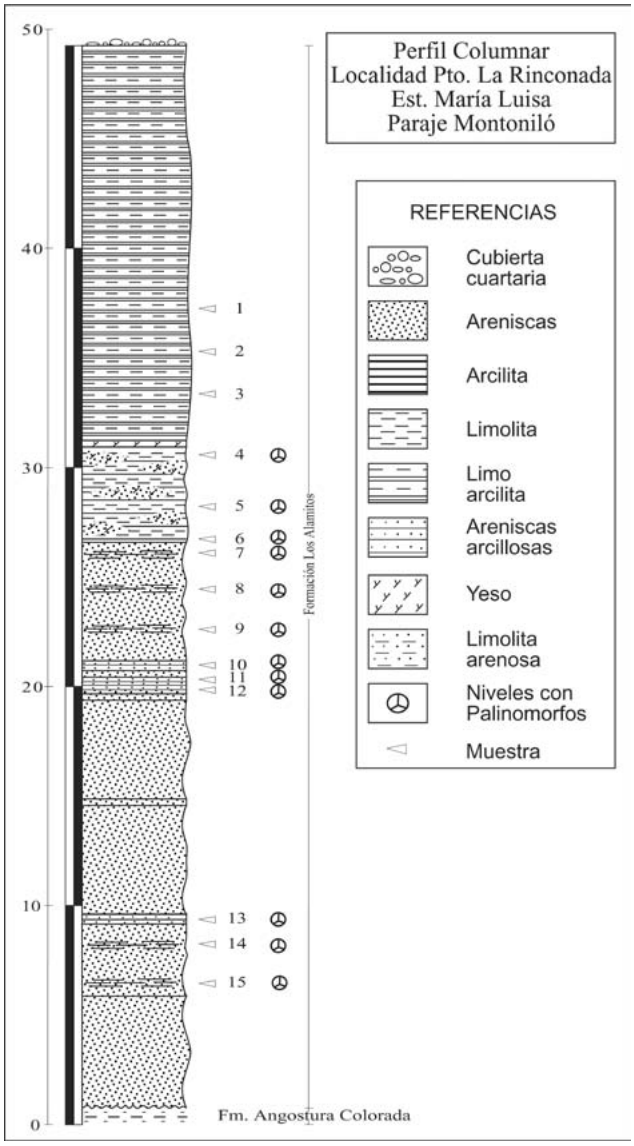


Fig 2: Perfil columnar del perfil Puesto La Rinconada, Estancia María Luisa, Paraje Montonilo. Río Negro Argentina.

Métodos, Técnicas y Materiales

La extracción palinológica se realizó empleando ácido fluorhídrico al 70% peso en peso y ácido clorhídrico al 35 % para la remoción de los silicatos y los cristales de fluoruro de calcio respectivamente. Se empleó ácido nítrico al 70 % ó 30 % para oxidar el material palinológico, en los casos que así lo requerían. La eliminación del polvillo de las muestras se realizó mediante una malla de 10µm en un medio dispersante de hexametafosfato de sodio. Las preparaciones definitivas fueron montadas en gelatina glicerina; previamente, algunas de ellas, se las tiñó con safranina en medio acuoso, para resaltar algunos aspectos morfológicos. Los residuos se guardaron en agua con azida sódica. Los palinomorfos fueron estudiados con el microscopio biológico Olympus BH de la unidad de paleopalinología del IANIGLA-CRICYT, Mendoza. Los preparados se encuentran depositados en la paleopalinoteca de dicho instituto bajo los números 4694 al 4705 seguidos de la sigla MPLP (Mendoza-Paleopalinoteca-Laboratorio de Paleopalinología).

Lista taxonómica de las especies estudiadas

ANTETURMA SPORITES
TURMA TRILETES
SUBTURMA AZONOTRILETES
INFRATURMA LAEVIGATI
Deltoidospora minor (Couper) Pocock 1970
Deltoidospora sp. B en Papú 1988
Deltoidospora australis (Couper) Pocock 1970
Dictyophyllidites mortoni (De Jersey) Playford & Dettmann 1965
Biretisporites crassilabratus Archangelsky 1972
Biretisporites sp.
Concavisporites sp.
Todisporites cf. minor Couper 1958
Stereisporites antiquasporites (Wilson & Webster 1946) Dettmann 1963
Waltzispora cf. lobofora (Waltz) Staplin 1960

INFRATURMA APICULATI
Concavissimisporites cf. penolaensis Dettmann 1963
Leptolepidites cf. verrucatus Couper 1953
Osmundacidites sp.
Granulatisporites sp.
Baculatisporites sp.
Verrucosisporites sp.
Converrucosisporitres sp.
Apiculatisporis sp.
Rugulatisporites cf. mallatus Stover 1973
Rugulatisporites sp.
Neoraistrichia truncata (Cookson) Potonié 1956
Neoraistrichia sp. (en Archangelsky 1973)
Herkosporites ellioti Stover 1973
Azolla (Euazolla) cretacea Stanley 1965
Grapnelispora loncochensis Papú 1997

Descripciones Sistemáticas

Turma: TRILETES (Reinsch 1881) Potonié & Kremp 1954
Subturma: AZONOTRILETES Luber 1935
Infraturma: LAEVIGATI (Bennie & Kidston 1886) Potonié 1956

Género: Deltoidospora (Miner) Pocock 1970
Especie tipo: Deltoidospora hallii Miner 1935

Deltoidospora minor (Couper) Pocock 1970
Lám. I, fig. 1

Material ilustrado: 4696c: 47,9/98,5.
Material estudiado: 4696a: 40,8/96; 38,6/99; 4696b: 41,5/106,6 y 27,3/105,9.
Dimensiones: 25 - 28,6 - 29 - 31 µm de diámetro.
Distribución estrafigráfica: Se encuentra ampliamente distribuida en el Jurásico de la Cuenca Neuquína y en el Cratácico Terciario de patagonia y Mendoza.
Afinidad botánica: Familia de las Cyatheaceae.

Deltoidospora sp. B en Papú 1988
Lám. I, Fig. 2

Descripción: Espora trilete de contorno subtriangular, de lados levemente convexos y ángulos bien redondeados. Los rayos de la marca Y supera los ¾ sin llegar al borde ecuatorial de la espora, presentando labios leve engrosados. Exina lisa a finamente microescabrada. Espesor de la exina, alrededor de 0,8 µm.

Material ilustrado: 4969a: 27,5/43,2.
Material estudiado: 27,5/43,2.
Dimensiones: 47 µm
Distribución: Formación Paso del Sapo, Cretácico superior, Prov. Del Chubut.
Deltoidospora australis (Couper) Pocock 1970
Lám. I, fig. 3

Material ilustrado: 4696d: 22,8/93,7
Material estudiado: 4696a: 37,8/42,3; 34,3/43,5, 4696c: 35,7/41,9.
Dimensiones: 47 - 49,3 - 51 µm de diámetro.
Distribución estratigráfica: Ver Ruiz y Quattrocchio 1997.

Género: Dictyophyllidites Couper 1958 emend. Dettmann 1963
Especie tipo: Dictyophyllidites harrissii Couper 1958

Dictyophyllidites mortoni (De Jersey 1959) Playford & Dettmann 1965
Lam. I, fig. 4

Descripción: Espora trilete de contorno triangular, lados convexos, ángulos redondeados. Marca Y que llega casi a los ángulos encerradas por labios delgados y elevados y bordeados por engrosamientos cóncavos que confluyen en los ángulos. Espesor de la exina 2 a 2,2 µm, observándose un leve engrosamiento en los ángulos que llega a 3 µ. Exina lisa.

Material ilustrado: 4695c 27,5/108,7
Material estudiado: 4696b: 27,9/109,6; 37,8/52,1; 40,7/87; 35,3/50,4.
Dimensiones: 41 - 43 - 49 - 49,5 µm de diámetro.
Distribución estratigráfica: Se la conoce desde el Período Triásico; pero en el Campaniano Superior se la encontró en la Formación Paso del Sapo (Papú 1988). Más detalles al respecto ver Ruiz y Quattrocchio 1997.
Afinidad botánica: Dipteridaceae/Matoniaceae.

Género Biretisporites Delcourt & Sprumont 1955 emend. Delcourt, Dettmann & Hughes 1963
Especie tipo: Biretisporites potoniaei Delcourt & Sprumont 1955

Biretisporites crassilabratus Archangelsky 1972
Lám, I, fig. 5

Material ilustrado: 4697c: 114,6/44,6
Material estudiado: 4696b: 36,8/42,5; 4696c: 37,8/63,2.
Dimensiones: 32,3 - 34 µm de diámetro.
Distribución estratigráfica: Esta presente en el Eoceno de la Formación Río Turbio, Santa Cruz.
Afinidad botánica: Osmundaceae.

Biretisporites sp.
Lam. I, fig. 6

Descripción: Espora de ámbito triangular, lados convexos con ángulos algo aguzados. Marca Y que llega a los ángulos bordeados por labios levantados y engrosados de 2,5-3 µm de grosos. Exina lisa de 2 µm de espesor.

Material estudiado e ilustrado: 4696d 44,9/96,1
Dimensiones: 45 µm de diámetro
Afinidad botánica: Dipteridaceae/Matoniaceae.
Comentarios: Si bien la espora coincide con la descripción genérica y la enmienda realizada por Dettmann (1963) para el género Dictyophyllidites, al no observar con claridad los engrosamientos interradiales, dicho ejemplar lo asignamos a Biretisporites.

Género: Concavisporites (Thomson & Pflug) Delcourt & Sprumont 1955
Especie tipo: Concavisporites rugulatus Pflug en Thomson & Pflug 1953

Concavisporites sp.
Lam. I fig. 7

Descripción: Espora trilete de contorno triangular trilobado con lados fuertemente cóncavos. Lesura de rayos rectas que

casi llegan al ecuador bordeada por cirtomas (fold-tori) de aproximadamente 2 µm de ancho. Exina lisa de 1,5 µm de espesor.

Material ilustrado: 4696a: 33/92,1
Material estudiado: 4696a: 27,1/92,2.
Dimensiones: 22 - 29,7 µm de diámetro.

Género: Todisporites Couper 1958
Especie tipo: Todisporites major Couper 1958
Todisporites cf. minor Couper 1958
Lam. I, fig. 8

Descripción: Espora trilete de contorno circular. Exina lisa, ligeramente plegada lesura simple, que alcanza la mitad del radio de la espora. Espesor de la exina 1,5 a 2 µm.

Material ilustrado: 4696a: 34,9/92,1
Material estudiado: 4696a: 34,9/92,1
Dimensiones: 25 µ de diámetro.
Observaciones: El cf. se refiere a que las dimensiones de nuestro material es menor al descrito por Couper. Todisporites sp. en Prámparo 1988, es de característica similar a nuestro material.
Distribución: Formación La Cantera Cretácico Medio de la Prov. de San Luis.
Afinidad botánica: Familia de las Osmundaceae.

Género: Stereisporites (Pflug 1953) De Jersey 1964
Especie tipo: Stereisporites stereoides (Potonié & Venitz 1934) Pflug 1953

Stereisporites antiquasporites (Wilson & Webster 1946) Dettmann 1963
Lam. I, fig. 9

Descripción: Espora trilete de contorno subcircular a subtriangular. Exina lisa a escarbada, ligeramente engrosada en los ángulos sin llegar a conformar valvas. Espesor de la exina de 1,5 a 2,5 µm. Lesuras simples y rectas que alcanzan la mitad de radio de la espora. Existe un engrosamiento en el polo distal de 8 a 10 µm de diámetro, que a su vez presenta tres adelgazamientos circulares de 2 a 3 µm de diámetro, coincidentes con los rayos de las lesuras.

Material ilustrado: 4696b: 33,3/110,7.
Material estudiado: 4696b: 27,3/95,5.
Dimensiones: 21 - 30 µm de diámetro.
Afinidad botánica: Esporas de Bryophytas de la familia de las Sphagnaceae.
Comentarios: La descripción se aproxima más a la realizada por Krutzsch 1966 (en Jansonius y Hills 1976), para S. (Tripunctisporis) maastrichtiensis del Maastrichtiano superior de Alemania, ya que describe dichos adelgazamientos que le son caracteristicos. A diferencia de la estudiada por Dettmann 1963 para el Aptiano Albiano de Australia.

Género: Waltzispora Staplin 1960
Especie tipo: Waltzispora lobophora (Waltz) Staplin 1960

Waltzispora cf. lobofora (Waltz) Staplin 1960
Lam. I, fig. 10

Descripción: Espora trilete de contorno triangular trilobada. Sobre cada vértice, se observan expansiones simétricas, que da como resultado un lóbulo en forma de ancla. Los rayos de la marca Y llegan casi hasta los 2/3 del radio de la espora. Lesura simple y recta. Los lados son cóncavos. La exina es lisa de alrededor de 1 µm de espesor.

Material ilustrado: 4696d: 45,5/113,7.
Material estudiado: 4696d: 45,5/113,7 y 35,7/98,4.
Dimensiones: 38 a 44 µm
Distribución: Es similar a la encontrada en la Formación Paso del Sapo, Campaniano Superior (Papú 1988).
Comparaciones: W. lobofora tiene exina finamente granulada.
Comentarios: La diagnosis genérica de Triancoraesporites Schulz 1962 es idéntica a la de Waltzispora por lo tanto, por prioridad utilizamos este último género.

Infraturma: APICULATI (Bennie & Kidston 1886) R. Potonié 1956

Género: Concavissimisporites (Delcourt & Sprumont) Dettmann 1963
Especie tipo: Concavissimisporites verrucatus Delcourt & Sprumont 1955

Concavissimisporites cf. penolaensis Dettmann 1963
Lam. I, fig. 11

Descripción: Espora trilete de ambito triangular con ángulos muy redondeados y lados levemente cóncavos. Exina de 2,5 µm de espesor cubierta de verrugas pequeñas de hasta 1µ de base por 0,8 µm de alto. Lesura que llega hasta los 4/5 del radio de la espora.

Material estudiado e ilustrado: 4696b: 21,7/105.
Dimensiones: 52 µm de diámetro.
Comentarios: El cf. se debe a que la escultura es más fina y los lados no son tan cóncavos como la especie descripta por Dettmann.

Género: Leptolepidites Couper 1953

Especie tipo: Leptolepidites verrucatus Couper 1953

Leptolepidites cf. verrucatus Couper 1953
Lam. I, fig. 12

Leyenda de la Lámina 1 (La escala gráfica corresponde a 10µm)
Fig. 1: Deltoidospora minor (Couper) Pocock 1970
4696c: 47,9/98,5
Fig. 2: Deltoidospora sp. B en Papú, 1988
4696c: 43,5/110,9
Fig. 3: Deltoidospora australis(Couper) Pocock 1970
4696a: 38,7/42,3
Fig. 4: Dictyophyllidites mortoni (De Jersey 1959) Playford & Dettmann 1965
4695c: 27,5/108,7
Fig. 5: Biretisporites crassilabratus Archangelsky 1972
4696b: 36,8/42,5
Figs. 6: Biretisporites sp.
4696d: 44,9/96,1
Fig. 7: Concavisporites sp.
4696a: 33/92,1
Fig. 8: Todisporites cf. minor Couper 1958
4696a: 34,9/92,1
Fig. 9: Stereisporites antiquasporites (Wilson & Webster 1946) Dettmann 1963
4696b:33,3/110,7
Fig. 10: Waltzispora cf. lobofora (Waltz) Staplin 1960
4696d: 45,5/113,7
Fig. 11: Concavissimisporites sp.
4696b: 21,7/105
Fig. 12: Leptolepidites cf. verrucatus Couper 1953
4696b: 34,7/107

Lámina 1

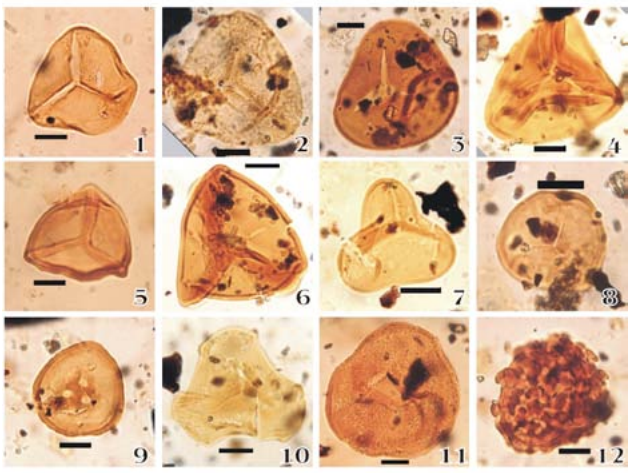


Fig. 1: *Deltoidospora minor* (Couper) Pocock 1970, 4696c: 47,9/98,5. Fig. 2: *Deltoidospora* sp. *B* en Papú, 1988, 4696c: 43,5/110,9. Fig. 3: *Deltoidospora australis* (Couper) Pocock 1970, 4696a: 38,7/42,3. Fig. 4: *Dictyophyllidites mortoni* (De Jersey 1959) Playford & Dettmann 1965, 4695c: 27,5/108,7. Fig. 5: *Biretisporites crassilabratus* Archangelsky 1972, 4696b: 36,8/42,5. Fig. 6: *Biretisporites* sp., 4696d: 44,9/96,1. Fig. 7: *Concavisporites* sp., 4696a: 33/92,1. Fig. 8: *Todisporites* cf. *minor* Couper 1958, 4696a: 34,9/92,1. Fig. 9: *Stereisporites antiquasporites* (Wilson & Webster 1946) Dettmann 1963, 4696b:33,3/110,7. Fig. 10: *Waltzispora* cf. *lobofora* (Waltz) Staplin 1960, 4696d: 45,5/113,7. Fig. 11: *Concavissimisporites* sp., 4696b: 21,7/105. Fig. 12: *Leptolepidites* cf. *verrucatus* Couper 1953, 4696b: 34,7/107.

Descripción: Espora trilete de ámbito subcircular con ángulos redondeados. Lesura simple llegando casi al ecuador. Exina de aproximadamente 1,5 µ, lisa en la parte proximal, esculturada desde el ecuador hasta el polo distal, con verrugas dómicas de aproximadamente 3 a 4 µ de base por 2,5 a 3 µ de alto. En el polo distal las verrugas se fusionan formando rugulas groseras.

Material ilustrado: 4696b: 26,1/108,4.
Material estudiado: 4696b: 34,7/107; 27,1/105,2 y 26,1/108,4.
Dimensiones: 32 - 33 - 43 µ de diámetro.
Observaciones: El cf. se refiere a la presencia ocacional de las rugulas en el polo distal.
Afinidad botánica: Corresponden a esporas de Lycopodiales de las familias Lycopodiaceae y Selaginellaceae.

Género: Osmundacidites Couper 1953
Especie tipo: Osmundacidites wellmanii Couper 1953

Osmundacidites sp.
Lam. II, fig. 1

Descripción: Espora trilete de ámbito circular. Exina de 1,5 µm de espesor, densamente cubierta de gránulos de 0,5 a 1 µm de base por 0,5 µ de alto y excepcionalmente de mayores dimensiones. Lesura algo sinuosa, bordeada por leves engrosamientos de aproximadamente 0,5 µm, que llega al ecuador de la espora.

Material estudiado: 4696b: 42,1/112,5.
Dimensiones: 53 µm de diámetro.
Afinidad botánica: Osmundaceae.

Género: Granulatisporites (Ibrahim) Potonié & Kremp 1954
Especie tipo: Granulatisporites granulatus Ibrahim 1933

Granulatisporites sp.
Lam. II, fig. 2

Descripción: Espora trilete de contorno triangular, ángulos redondeados y lados convexos. Lesuras rectas que llegan al ecuador, bordeadas por labios de aproximadamente 1 µm de ancho. Exina delgada que llega casi a 1 µm de espesor, ornamentada por gránulos y coni que pueden alcanzar a 1 µm de base y entre 0,5 - 1 µm de alto, espaciados entre sí dejando lugar para uno o dos elementos.

Material ilustrado: 4696b: 29,2/102
Material estudiado: 4696a: 29,2/102
Dimensiones: 40 µm de diámetro.

Género: Baculatisporites Thomson & Pflug 1953
Especie tipo: Baculatisporites primarius (Wolff) Thomson & Pflug 1953

Baculatisporites sp.
Lam. II fig. 3

Descripción: Espora trilete de ámbito redondeado a levemente subtriangular. Lesuras rectas que alcanzan los 3/4 del radio de la espora, bordeada por labios de aproximadamente 1,5 µm de ancho. Exina de 1,5 µm de espesor, densamente ornamentada por báculas y escasos conos, es frecuente que las báculas se fusionen, estas no superan los 2,5 µm de alto.

Material estudiado: 4694f: 39,1/101,8.
Dimensiones: 30 µm de diámetro incluida la ornamentación.
Comparaciones: B. turbioensis Archangelsky 1972 es similar a la de nuestro material.

Género: Verrucosisporites (Ibrahim) Potonié & Kremp 1954.
Especie tipo: Verrucosisporites verrucatus Ibrahim 1932 en Potonié, Ibrahim & Loose.

Verrucosisporites sp.
Lam. II, fig. 4

Descripción: Espora trilete de ámbito triangular, lados rectos a levemente cóncavos ó convexos. Exina de 1,5 - 2 µm de espesor, lisa en la parte proximal, y ornamentada, en la cara distal llegando hasta el ecuador, por grandes verrugas de 4 µm de base por 6 µm de alto, algunas se anastomosan formando groseras rugulas. Lesuras rectas que llegan a los ángulos bordeados por labios de 0,5 µm de base.
Material ilustrado: 4696d: 42,9/111,8.
Material estudiado: 4696d: 45,7/115.
Dimensiones: 35 µm de diámetro incluyendo la ornamentación.

Género: Converrucosisporites Potonié & Kremp 1954
Especie tipo: Converrucosisporites triquetus (Ibrahim) Potonié & Kremp 1954

Converrucosisporites sp.
Lam. II, fig. 5

Descripción: Espora trilete de contorno subtriangular. Exina densamente ornamentada en ambas caras por verrugas, gránulos y conos de base de hasta 3 µm de diámetro por 0,5 a 1,5 µm de alto; espesor de la exina aproximadamente 1 µm. Lesuras algo sinuosas que alcanzan los 4/5 del largo del radio, bordeadas por labios de aproximadamente 1 µm de ancho.

Material ilustrado: 4698a: 38,8/113,2.
Material estudiado: 4698a: 38,8/113,2.
Dimensiones: 62 µ. de diámetro.

Género: Apiculatisporis Potonié & Kremp 1956
Especie tipo: Apiculatisporis aculeatus (Ibrahim 1933) Potonié 1956

Apiculatisporis sp.
Lam. II, fig. 6

Descripción: Espora trilete de ámbito subtriangular redondeada. Lesuras rectas que llegan casi al ecuador. Exina delgada de 0,5 - 1,2 µm, ornamentada en ambas caras por conos, verrugas y en menor proporción báculas, por lo general de bases más anchas que la altura en una relación de aproximadamente 2 a 1; las verrugas son de base iregular y alargadas. El espaciamiento es tal que permitiría la instalación de otro.

Material ilustrado: 4694b: 38,2/107.
Material estudiado: 4694b: 38,2/107.
Dimensiones: 32 µm de diámetro.
Comparaciones: Apiculatisporis charahuillaensis Volkhemer 1972, del Jurásico de la Cuenca Neuquína difiere en que presenta un contorno más redondeado y en que los elementos esculturales son más robustos.

Género: Rugulatisporites Pflug & Thomson 1953
Especie tipo: Rugulatisporites quintus Pflug & Thomson 1953

Rugulatisporites cf. mallatus Stover 1973
Lam. II, fig. 7

Descripción: Espora trilete de ámbito triangular, ángulos redondeados lados convexos. Exina 2,5 µm de espesor ornamentada densamente, en ambas caras, por rugulas sinuosas de 2 - 4 µm de ancho dejando entre sí espacios de 1 - 3 µm. Lesura simple que llega a los 3/4 del radio de la espora.

Material ilustrado: 4696b: 35,5/105.
Material estudiado: 4696b: 35,5/105.
Dimensiones: 41 µm de diámetro.
Distribución: Paleoceno Medio a final del Mioceno de la cuenca de Gippsland sud este de Australia.

Rugulatisporites sp.
Lam. II, fig. 8

Descripción: Espora trilete de ámbito subcircular a triangular. Lesura simple, recta llegando aproximadamente a 2/3 del

radio de la espoara. Exina de 1,5 - 2 µm de espesor que en la cara proximal es lisa y en la distal presenta rugulas muy sinuosas, ramificadas, de 0,5 - 1,5 µm de amchas con espacios entre sí de 0,5 a 1µm.

Material ilustrado: 4696c: 48/100,7
Material estudiado: 4696b: 42,5/106,5 y 29,1/96,5; 4696c: 48/100,7 y 4696d: 34/96
Dimensiones: 27 - 27,5 µm de diámetro.

Género: Neoraistrickia Potonié 1956
Especie tipo: Neoraistrickia truncata (Cookson) Potonié 1956

Neoraistrickia truncata (Cookson) Potonié 1956
Lam. II, fig. 9

Descripción: Espora trilete de ámbito subtriangular. Lesura recta llegando casi al ecuador, con labios y bordeada por un engrosamiento de la exina "margo". Exina de 2 µm de espesor que en la cara distal presenta báculas de 1 - 2,5 µm de base por 1,5 - 3 µm de alto con formas que se afina hacia los extremos y es posible, también, ver espinas truncadas. Los procesos se encuentran bien separados entre sí de 3 - 4 µm. En la cara proximal los elementos son más escasos.

Material ilustrado: 4696a 35,3/112,8.
Material estudiado: 4696a 35,3/112,8.
Dimensiones: 33 µm de diámetro.
Comentarios: El material nuestro guarda relación con N. truncata descripta por Dettmann 1963; pero los elementos son ligeramente menos robustos que los australianos.
Distribución: Ampliamente distribuida en el Sud este de Australia (ver Dettmann 1963).

Afinidad botánica: Esporas atribuibles a las especies actuales de Selaginella stolonifera, S. biformis y de Licopodium densus.

Neoraistrickia sp. (en Archangelky 1973)
Lam. II, figs. 10 y 11

Descripción: Espora trilete de contorno triangular de lados rectos a suavemente convexos ángulos redondeados. Lesura recta que llegan hasta los 4/5 del radio de la espora. Exina de aproximadamente 1 µm de espesor con procesos robustos de hasta 4 µ de base irregular llegando a 5 µm de alto, con ápices truncadas ó redondeadas, escasamente aguzados. Es frecuente que las bases se fusionen.

Material ilustrado: 4696a: 38/94.
Material estudiado: 4696a: 36,8/92,3; 38,7/92,5; 38/94; 38,7/94,3; 4696c: 47,4/104,1 y 4696d: 22,9/105,4.
Dimensiones: 29 - 31,5 - 50 µm de diámetro.
Comentarios: Neoraistrickia sp. de Archangelsky 1973 guarda gran parecido con nuestro material, se diferencia en que en aquellos la lesura llega al ecuador.
Distribución: Esta presente en el Paleoceno de Chubut.

Género: Herkosporites Stover 1973
Especie tipo: Herkosporites elliottii Stover 1973

Herkosporites elliottii Stover 1973
Lam. II, fig. 12

Descripción: Espora trilete de contorno subcircular a redondeado. Lesuras más o menos rectas que llegan al ecuador bordeadas por espinas. Exina de aproximadamente 1 µm de espesor, que en la parte interradial proximal es lisa; pero en el ecuador la parte distal y borde de la lesura presenta espinas por lo general truncadas de hasta 1,5 µ de base por hasta 5 µ de alto. El espaciamiento entre procesos del polo distal es de 1,5 - 2,5 µm.

Material ilustrado: 4697 b: 43,3/94,6
Material estudiado: 4697c: 45,1/113 y 27,3/108.
Dimensiones: 33 - 35 µm de diámetro.
Observaciones: este material coincide en todas sus características con el que dio lugar al género y especie tipo.
Distribución: Del paleoceno Medio al Mioceno tardío de Australia.

Másulas de helechos heterosporados

Género: Azolla de Lamarck 1783
Especie tipo: Azolla filiculoides de Lamarck 1783
Azolla cretacea Stanley 1965

Másula de Azolla (Euazolla) cretacea Stanley 1965
Lám. II fig. 14

Descripción: Másulas de forma circular a elipsoidal de aproximadamente 100 a 120 µm. Los gloquidios, distribuidos en toda su superficie, poseen un pedúnculo que varía entre 30 a 40 µm de largo y 1,5 a 2 µm de ancho. Estos terminan en un engrosamiento ancoriforme de 5 µm de ancho, terminando en extremos aguzados del "ancla" de 6 a 7 µm de largo.

Las microsporas triletes de 20 a 25 µm de diámetro, poseen una exina lisa de 2 µm de espesor. Las lesuras son simples sin llegar al ecuador.

Material estudiado e ilustrado: 4697c 32,4/114,8
Observaciones: Materiales de similares características fueron descriptas para la Formación Paso del Sapo provincia del Chubut (Papú, 1988), Formación Loncoche provincia de

Mendoza (Papú 1990) y Formación Los Alamitos (Papú, et al. 1988).

Género Grapnelispora Stover y Partridge 1984
Especie tipo: Grapnelispora evansii 1984

Grapnelispora loncochensis Papú, 1997
Lam. II fig. 13

Descripción: Másula(?) de forma estrellada, compuesta por dos capas. La interna, que rodea a la microspora, tiene un aspecto esponjoso que forma vesículas cuya trama aumenta de tamaño hacia la capa externa. Estas vesículas varían de 1 a 6 µm de diámetro. La externa, de 2 µm de espesor es psilada. La másula posee apéndices que varían en número y forma y terminan en uno, dos, tres o más garfios.
La microspora de ambito triangular a subcircular, es psilada cuya exina varía de 2 a 3 µm de espesor. La marca Y es simple, aunque en algunos ejemplares se observan incinuación de labios, llegando a la zona ecuatorial.

Dimensiones: Largo de la másula, incluyendo los apéndises 265 µm. Diámetro de la endospora 67 µm. Largo de los apéndices de 95 a 100 µm. Ancho de los apéndices en la base de 40 a 50 µm. Ancho de los apéndices en los extremos 4 a 6 µm.

Material estudiado e ilustrado: 4697c: 24,5/102,8; 4696b: 93,1/36,6; 4700k: 98,3/47,8.
Observaciones: El material observado es similar al descripto en las formaciones coetaneas Loncoche (Papú 1997) y Paso del Sapo (Sepúlveda et al. 1989), sur de Mendoza y Valle del Río Chubut respectivamente.

Leyenda de la Lámina 2 (La escala gráfica corresponde a 10µm)
Fig. 1: Osmundacidites sp.
4696b: 42,1/112,5
Fig. 2: Granulatosporites cf. penolaensis Dettmann 1963
4696a: 29,2/102
Fig. 3: Baculatisporites sp.
4694f: 39,1/101,8
Fig. 4: Verrucosisporites sp.
4696d: 42,9/111,8
Fig. 5: Converrucosisporites sp.
4698a: 38,8/113,2
Fig. 6: Apiculatisporis sp.
4694b: 38,2/107
Fig. 7: Rugulatisporites cf. mallatus Stover 1973
4696b: 35,5/105
Fig. 8: Rugulatisporites sp.
4696b: 42,5/106,5
Fig. 9: Neoraistrickia truncata (Cookson) Potonié 1956
4696a: 35,3/112,8
Figs. 10 y 11: Neoraistrickia sp.
4696a: 38,7/92,5
Fig. 12: Herkosporites elliottii Stover 1973
4697 b: 43,3/94,6
Fig. 13: Grapnelispora loncochensis Papú, 1997
4697c: 24,5/102,8
Fig. 14: Másula de Azolla (Euazolla) cretacea Stanley 1965
4697c 32,4/114,8

Lámina 2

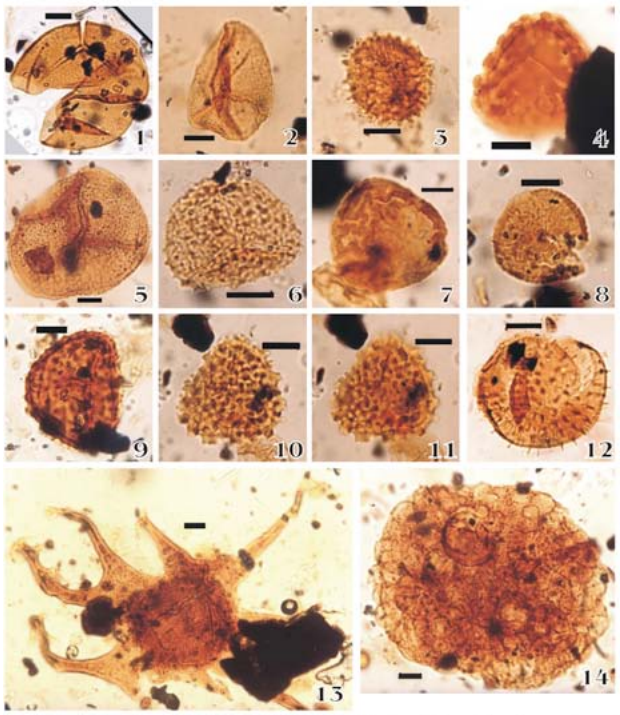


Fig. 1: *Osmundacidites* sp., 4696b: 42,1/112,5. Fig. 2: *Granulatosporites* cf. *penolaensis* Dettmann 1963, 4696a: 29,2/102. Fig. 3: *Baculatisporites* sp., 4694f: 39,1/101,8. Fig. 4: *Verrucosisporites* sp., 4696d: 42,9/111,8. Fig. 5: *Converrucosisporites* sp., 4698a: 38,8/113,2. Fig. 6: *Apiculatisporis* sp., 4694b: 38,2/107. Fig. 7: *Rugulatisporites* cf. *mallatus* Stover 1973, 4696b: 35,5/105. Fig. 8: *Rugulatisporites* sp., 4696b: 42,5/106,5. Fig. 9: *Neoraistrickia truncata* (Cookson) Potonié 1956, 4696a: 35,3/112,8. Figs. 10 y 11: *Neoraistrickia* sp., 4696a: 38,7/92,5. Fig. 12: *Herkosporites elliottii* Stover 1973, 4697 b: 43,3/94,6. Fig. 13: *Grapnelispora loncochensis* Papú, 1997, 4697c: 24,5/102,8.Fig. 14: Másula de *Azolla (Euazolla) cretacea* Stanley 1965, 4697c 32,4/114,8

Conclusiones

Si bien la mayoría de las especies descriptas corresponden a taxones de biocrones prolongados, el conjunto es característicos de asociaciones palinológicas del Crteácico superior. Hay que tener en cuenta que con la excepción de la especie de Grapnelispora loncochensis, que para la Patagonia Argentina y sur de Mendoza se encuentra restringida al campaniano-maastrichtiano inferior. En consecuencia, asignamos a la unidad roca portadora, una edad Campaniana superior-Maastrichtiana inferir.
Respecto al ambiente es de notar que las esporas de helechos se desarrollan en ambientes húmedos. La presencia de másulas de Azolla y Grapnelispora nos habla de la existencia en él, de cuerpos de aguas lénticos o pantanosos debido a la presencia del género Stereisporites.

Agradecimientos

Al ITMAS Los Alamos (Río Negro) por el vehículo facilitado. Al Dr. W. Volkheimer por la lectura crítica del manuscrito y las sugerencis vertidas al mismo.

Bibliografía

- ARCHANGELSKY, S. 1972. Esporas de la Formación Río Turbio (Eoceno), provincia de Santa Cruz. Revista del Museo Nacional de La Plata (Nueva Serie) Sección Paleontología (4): 65-100.
- ARCHANGELSKY, S. 1973. Palinología del Paleoceno de Chubut. I Descripciones sistemáticas. Ameghiniana 10 (4): 339-399. Buenos Aires.
- COUPER, R.A. 1953. Upper Mesozoic and Cainozoic Spores and Pollen Grains from New Zealand. New Zealand Geological Survey Palentological Bulletin 22: 1-77. Nueva Zelandia.
- COUPER, R.A. 1958. British Mesozoic microspores and pollen grains.- Paleontogr. 103 B: 75-179, Stuttgart.
- DETTMANN, M.E. 1963. Upper Mesozoic Microflora from South-Eastern Australia. Royal Society of Victoria 77, Part 1: 1-148.
- JANSONIUS, J y HILLS, L.V. 1976. Genera File of Fossil Spores (Ficha Nº 2722). Special publication. Dept. Geology University of Calgary.
- PAPU, O. H. 1988. Estudio palinológico de la Formación Paso del Sapo (Cretácico Superior) en la localidad de "Los Fortines" Valle Medio del Río Chubut. Parte I: Esporas triletes Laevigadas y Apiculati. Actas del IV Congreso Argentino de Paleontolgía y Bioestratigrafía, 3: 63-73. Mendoza.
- PAPU, O. H. 1990. Contribución a la palinología estratigráfica de la Formación Malargüe, Crtácico Superior, sur de la provincia de Mendoza, Argentina. Parte I: Especies terrestres y de aguas continentales. Ameghiniana, 27 (3/4), 289-303.
- PAPU, O. H. 1997. Nueva especie de Grapnelispora del Campaniense-Maastrichtiense, provincia de Mendoza, Argentina. Inferencias filogenéticas, paleobiogeográficas y paleoambientales. Revista Española de Paleontología, 12 (2), 197-205.
- PAPÚ, O.H. y SEPÚLVEDA, E. 1995. Datos palinológicos de la Formación Los Alamitos en la localidad de Montoniló, departamento de 25 de Mayo, Río Negro, Argentina. Sus relaciones con unidades colindantes coetáneas. VI Congreso Argentino de Paleontología y Bioestratigrafía, Actas: 195-200. Trelew.
- PLAYFORD, G. & DETTMANN, M. E., 1965. Rhaeto-Liassic Plant Microfossils from the Leigh Creek Coal Measures, South Australia. - Senck. Leth. 46 2/3: 127 - 181, Frankfurt.
- POTONIÉ, R. 1956. Synopsis der Gattungen der Sporae dispersae. I. Teil: Sporites. - Behi. Geol. Jb. 23: 1 - 103, 11 Taf. Hannover.
- POTONIÉ, R. & KREMP, G. 1954. Die Gattungen der paläozoischen Sporae dispersae und ihre Stratigraphie. - Geol. Jb. 69: 111-194. Hannover, 1955.
- PRAMPARO, M. B. 1988. Esporas levigadas y apiculadas de la Formación La Cantera (Cretácico de la Cuenca de San Luis) en su localidad tipo.- IV Congr. Arg. Paleontol. Bioestrat. (1986), Actas, 3: 51-62; Mendoza.
- RUIZ, L. y QUATTROCCHIO, M. 1997. Estudio palinológico de la Formación Pedro Luro (? Maastrichtiano-Paleogeno) en la Cuenca del Colorado, República Argentina. Parte I: Esporas triletes, Laevigati, Murornati, Tricrassati, Cingulati y Zonati. Revista Española de Micropalentología 29 (1): 13-29.
- SEPULVEDA, E., PAPU, O. H. y VOLKHEIMER, W. 1989. Importancia estratigráfica y paleobiogeográfica del género Grapnelispora (Stover y Partridge), en el Cretácico tardío del hemisferio austral. Boletín Instituto de Geociencias Universidade de Sâo Paulo, Publicaçâo. Especial, 7, 163-171.
- STAPLIN, F. I., 1960. Upper Mississippian Plant Spores from the Golata Formation, Alberta, Canada. - Paleontographica, B. 107 : 140.
- STOVER, L. E. y PARTRIDGE, A.D. 1973. Tertiary and Late Cretaceous spores and pollen fron the Gippsland Basin, Southeastern Australia. Proceedings Royal Society of Victoria 85 (2): 237-286. Victoria.
- THOMSON,P & PFLUG, H. 1952. Die alttertiäre Braunkohle der Tongrube Ziebel. - Neues Jb. Geol. Pal. 96: 1 -26, Taf., Stuttgart.
- VOLKHEIMER, W. 1972. Estudio palinológico de un carbón caloviano de Neuquén y consideraciones sobre los paleoclimas jurásicos de la Argentina. Rev. Mus de La Plata, Paleontol., 6 (40):101-157. La Plata.

NUEVAS ESTRATEGIAS DE PROTECCIÓN SÍSMICA PARA REDUCIR LA VULNERABILIDAD DE OBRAS EMPLAZADAS EN REGIONES DE ALTO RIESGO SÍSMICO.

Dr. Ing. Miguel Tornello (1)
Ing. Carlos Frau (1)
Dr. Ing. Gustavo Palazzo (1)
(1) CeReDeTec. Facultad Regional Mendoza. Universidad Tecnológica Nacional.

Palabras Claves
- Peligro sísmico
- Vulnerabilidad sísmica
- Protección sísmica
- Aislamiento de base
- Disipación de energía

Resumen
La ingeniería sísmica mundial ha tenido que reconocer la limitación de sus métodos de diseño debido a que muchas de sus obras, diseñadas por ingenieros con códigos de última generación, han colapsado ante terremotos destructivos.

En los últimos años, las técnicas de aislamiento sísmico y disipación de energía representan nuevas herramientas para mitigar los efectos de los terremotos destructivos. En el país y especialmente en el oeste argentino como región de mayor riesgo sísmico, no existen antecedentes del empleo de las citadas técnicas y tampoco se encuentran incluidas en los reglamentos actuales de diseño, aspecto éste, que indica un retraso tecnológico de ingeniería local comparado, no solamente con países avanzados, sino con otros de la región. Dentro de las ciudades emplazadas en el oeste argentino, existe infraestructura y edificios, tanto privados como públicos, que se conoce son vulnerables frente a la ocurrencia de terremotos destructivos ya sea por razones estructurales, materiales, vida útil o bien porque ya no cumplen con los reglamentos modernos. Las políticas de estado de muchos países con problemas sísmicos destacan la importancia de proteger aquellos edificios públicos que cumplen una función social relevante para la población (escuelas, hospitales, gobierno, justicia, etc.) y porque deberán atender la emergencia luego de ocurrido el terremoto (policía, bomberos, hospitales, gobierno, etc.). Por lo tanto el trabajo propone y motiva a que el estado, provincial o nacional, asuma el rol que le corresponde desarrollando adecuados planes de contingencia. Entre ellos se destaca la importancia de implementar acciones para evaluar las vulnerabilidades de los edificios esenciales y tomar acciones correctivas para garantizar su permanencia frente a terremotos destructivos.

El trabajo muestra un resumen de los procedimientos más habituales para evaluar el peligro sísmico de la región y presenta algunos resultados sobre la vulnerabilidad de las construcciones del Gran Mendoza, sus posibles causas, y el tipo de intervención a realizar para reducirlas o eliminarlas de tal manera de garantizar, al menos para esos edificios esenciales la atención post-terremoto. Como ejemplos de aplicación se desarrollan técnicas no tradicionales basadas en conceptos de aislamiento sísmico y de disipación de energía que tienden a reducir los efectos de los terremotos sobre las construcciones. Los resultados disponibles confirman el peligro sísmico de la región y ponen en evidencia la conveniencia del uso de técnicas no tradicionales para controlar el daño y las vulnerabilidades detectadas en edificios que, actualmente no cumplen con las reglamentaciones vigentes.

Introducción
La República Argentina posee una extensión continental de 1.850.000 Km2. En su historia sísmica distintas ciudades del país han sufrido las consecuencias de terremotos destructivos. Los mismos han producido graves daños materiales y en algunos casos numerosas víctimas. El país, por su gran extensión y escasa densidad de población en áreas afectadas por los terremotos, no cuenta con datos sísmicos ininterrumpidos sino, que los datos existentes son fragmentados y a veces parciales (INPRES, 1977).

Sin embargo las zonas de fallamiento se manifiestan claramente con desplazamientos de cadenas montañosas, alineaciones de centros volcánicos y formación de valles transversales a las estructuras de fallas. Estudios realizados (INPRES, 1981) indican que en Argentina es posible establecer tres dominios claramente diferenciados; la zona norte, central y sur del país. Cada uno de dichos dominios poseen caracterizaciones distintas en cuanto a la problemática sísmica y sobre la cual se encuentra apoyada la zonificación sísmica del país (Figura 1).

Estudios geológicos realizados en la región donde se localiza el Gran Mendoza indican que la zona es sísmicamente activa (Microzonificación sísmica del Gran Mendoza, 1989). Dicha actividad está relacionada tectónicamente con la convergencia de las Placas Sudamericanas y de Nazca. Esta última subduce debajo de la primera, la cual es activamente deformada a lo largo de su margen oeste y arroja como resultado estructuras geológicas activas, algunas de las cuales, por su localización, corresponden a fuentes sísmicas en y alrededor del Gran Mendoza.

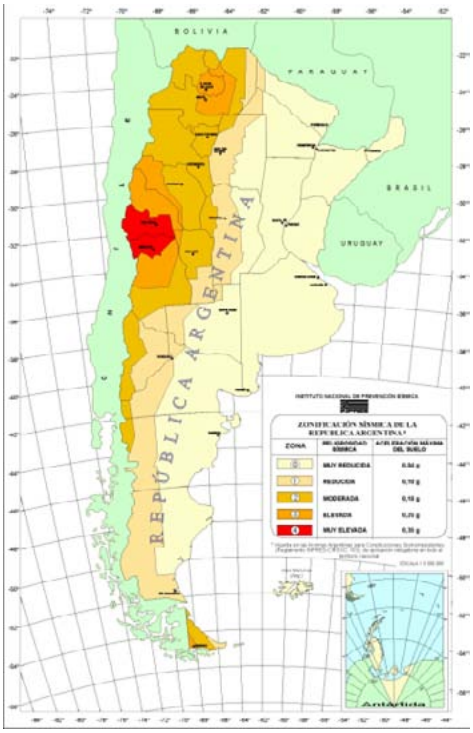


Figura 1. Zonificación sísmica República Argentina (Fuente: Reglamento Inpres-Cirsoc 103, 1983).

Los terremotos profundos que ocurren a lo largo de la placa de Nazca, que se introduce debajo de la placa Sudamericana, define una zona sísmica buzante notablemente regular llamada zona de Benioff. A mayores profundidades y por debajo de dicha zona (650 á 700 kilómetros), la placa ha sido completamente absorbida en el interior de la tierra, o sus propiedades han sido tan altamente alteradas que no es posible liberar más energía sísmica (Figura 2).

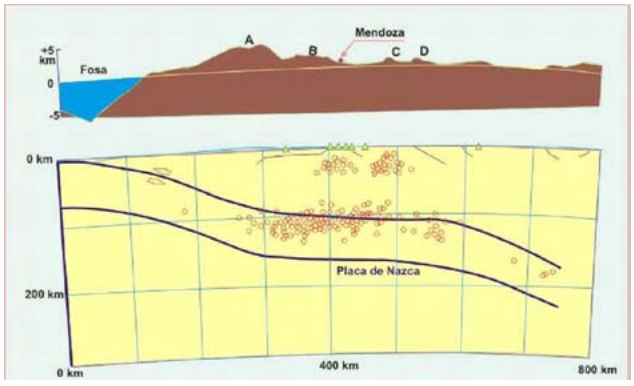


Figura 2. Subducción de Placa de Nazca con Sudamericana a la altura de la Pcia de Mendoza.

Además de las fuentes sísmicas superficiales, la actividad sísmica en la zona de Benioff, la cual se produce a una profundidad de entre los 100 y 120 Km., constituye otra fuente sísmica que afecta la zona. El área del Gran Mendoza se ubica sobre una zona de transición de la Placa de Nazca que tiene rumbo este-oeste. Hacia el norte del Gran Mendoza, la placa es casi horizontal, mientras que hacia el sur, su ángulo de buzamiento se orienta tanto hacia al sur como hacia el este.

La actividad sísmica dentro de la Placa Sudamericana, en el área del Gran Mendoza, se extiende en profundidad, desde cerca de la superficie hasta los 30 a 40 Km.- Sobre la base de estudios de la geología superficial de la zona del Gran Mendoza fueron identificadas como sísmicamente activas las fallas enumeradas en la Tabla 1.

NÚMERO	DESIGNACIÓN
1	Falla del Cerro de la Cal - Calle Perú
2	Fallas del Cerro de la Gloria y del Cerro del Cristo
3	Falla del Melocotón
4	Fallas de Barrancas
5	Falla de Salagasta – Los Cerrillos.

Tabla 1. Fallas sísmicamente activas que afectan el área del Gran Mendoza. Argentina

A mayores distancias del Gran Mendoza, se ubican las fallas de Mariposa, Tupungato y Cordillera Frontal. En la Figura 3, se identifican las fallas que interesan a la zona del Gran Mendoza. La región ha sido afectada por terremotos diversos de los cuales muchos de ellos han producido daños en las construcciones y pérdida de vidas humanas. En Tabla 2 se indican los terremotos más relevantes ocurridos en el Gran Mendoza de acuerdo a los antecedentes históricos y a los registros obtenidos con instrumentos sísmicos.

Día	*Fecha Mes*	*Año*	*Coordenadas hipocentrales*		*H (km)*	*Magnitud*	*$I_{max.}$*
			Latitud (°S)	*Longitud (°W)*		*(Ms)*	*M.M.*
22	mayo	1782	33.0	69.2	30	7.0	VIII
20	marzo	1861	32.9	68.9	30	7.0	IX
19	agosto	1880					VII
12	agosto	1903	32.1	69.1	70	6.0	VIII
27	julio	1917	32.3	68.9	50	6.5	VII
17	diciembre	1920	32.7	68.4	40	6.0	VIII
14	abril	1927	32.5	69.5	110	7.5	VIII
26	enero	1985	33.1	68.8	12	5.9	VIII

Tabla 2. Terremotos más importantes que afectaron el Gran Mendoza

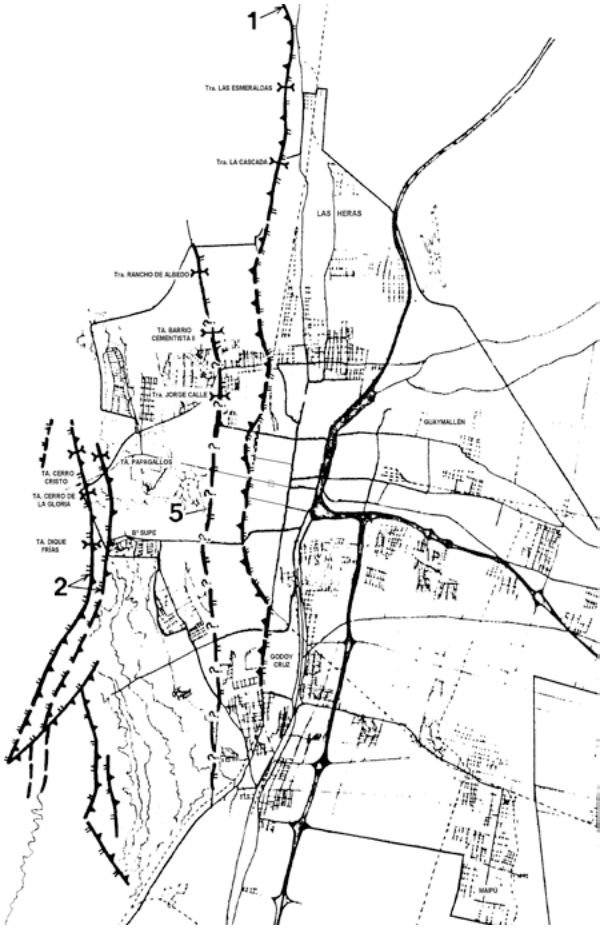


Figura 3. Fallas sísmicamente activas que afectan la zona del Gran Mendoza. (1) Falla del Cerro la Cal – Calle Perú. (2) Falla del Cerro de la Gloria y Cerro el Cristo (5) Falla de Salagasta – Los Cerrillos

Los antecedentes presentados indican un elevado riesgo sísmico de la región; por lo tanto es necesario que el estado provincial o nacional defina claras políticas que permitan en un futuro próximo evaluar el peligro sísmico asociado a las obras realizadas por el hombre.

Riesgo Sísmico

Para el diseño de las obras civiles realizadas por el hombre en zonas sísmicas es necesario estimar la ocurrencia de eventos destructivos junto a sus características (intensidad máxima probable y aceleración máxima, entre otros parámetros). Dicha estimación permite además una evaluación de los daños probables causados por eventos futuros.

Para obtener resultados se utilizan modelos de riesgo sísmicos, que se basan en la información disponible sobre la sismicidad histórica, registros instrumentales, geología local y la tectónica regional. Si bien estos modelos presentan inconvenientes y tienden a ser reemplazados por otros del tipo semiprobabilistico siguen siendo muy utilizados por la bibliografía internacional y por los profesionales responsables de evaluar el riesgo sísmico de una región o de un país.

Como medida de la intensidad del movimiento pueden utilizarse distintos parámetros, por ejemplo muchos autores utilizan como medida característica la aceleración máxima del terreno. Si bien ya se ha demostrado que la aceleración por sí sola no resulta ser un parámetro que mida la importancia del evento se sigue utilizando debido a que provee una estimación razonable para determinar el riesgo sísmico. Por otro lado el daño está más relacionado con la velocidad que con la aceleración del suelo por lo tanto sería conveniente, desde un punto de vista práctico, trabajar con la velocidad en lugar de la aceleración. En distintas regiones del mundo se emplean mapas de zonificación sísmica utilizando como parámetro la aceleración del movimiento sísmico y sobre todo para la estimación de las demandas a las que estará expuesta la estructura.

Los estudios de microzonificación sísmica del Gran Mendoza, permitieron el trazado de curvas de aceleración instrumental máxima para distintas probabilidades de excedencia. Los niveles de aceleración instrumental, con una probabilidad de excedencia del 10% en 20 años (que son los que se recomiendan como aceleración máxima más probable a los fines del diseño sismorresistente de estructuras convencionales), oscilan entre 0.30g y 0.40g. para la zona del Gran Mendoza (Figura 4 y 5).

En los últimos años se han desarrollado trabajos que evalúan el peligro sísmico en función de la aceleración del suelo cuando el terremoto ocurre próximo a la falla (Frau y Saragoni, 2005). Para evaluar los parámetros de diseño se utilizan modelos de atenuación que tienen en cuenta el tipo de falla y los parámetros de cercanía a la falla. Por último los resultados obtenidos pueden corregirse por el efecto de direccionalidad.

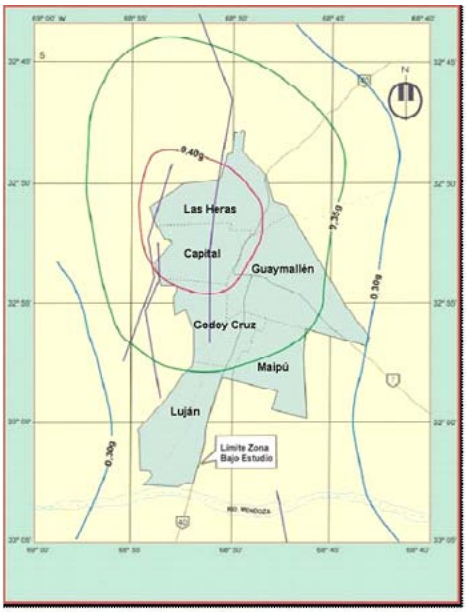


Figura 4. Aceleraciones máximas. Probabilidad excedencia del 10% en 20 años (Roca- Suelos firmes).

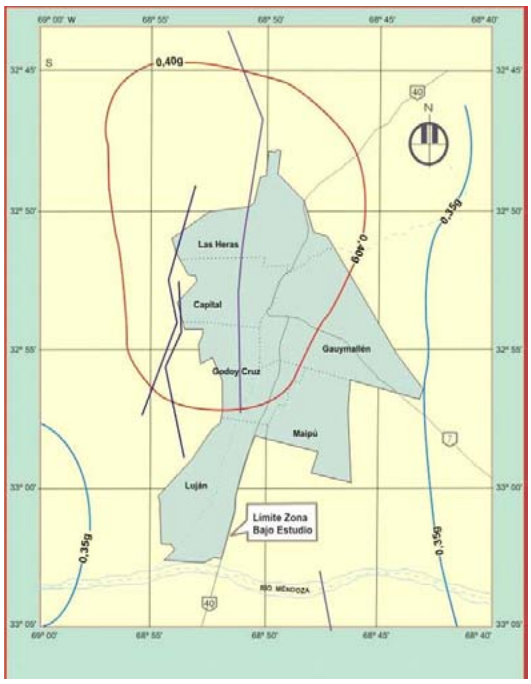


Figura 5. Aceleraciones máximas. Probabilidad excedencia del 10% en 20 años (Suelos profundos).

En los estudios de riesgo sísmico se utilizan dos conceptos: **Amenaza sísmica** (seismic hazard): es una medida que cuantifica la ocurrencia de futuros eventos sísmicos y las acciones sísmicas asociadas a dichos eventos (movimientos del terreno, licuefacción de suelos, deslizamientos de tierra, etc). La amenaza sísmica se expresa en términos de probabilidad de que un determinado valor (aceleración, intensidad) sea excedido en un tiempo dado.
Cuando se habla de amenaza sísmica puede, por ejemplo expresarse de la siguiente manera: "que existe un 20% de probabilidades de que un cierto valor de aceleración (20% ó 30% de g), sea excedido en 50 años".

Riesgo Sísmico (seismik risk): es una medida que expresa la probabilidad de que en un determinado sitio y durante un período determinado, por ejemplo 50 ó 100 años, las consecuencias económicas (ya sea pérdidas económicas o daños económicos) y sociales (número de víctimas) excedan valores determinados.

Método probabilístico para la estimación del Riesgo sísmico

Debido a las características propias de los mecanismos de falla, la sismicidad local y regional, inherentes de cada zona, no es posible al día de la fecha contar con procedimientos científicamente demostrados que permitan predecir los fenómenos sísmicos de una manera determinística. Sin embargo distintas investigaciones interesadas en el fenómeno sísmico continúan estudiando y poniendo a punto distintos métodos para predecir de una manera racional un evento sísmico (Teoría de la dilatancia, Anomalías y efectos precursores, movimientos corticales y mediciones geodésicas, etc).

Por lo tanto uno de los primeros procedimientos utilizados por la especialidad se basa en modelos probabilísticos que permiten predecir la futura actividad sísmica de una región en términos de probabilidades. La metodología para dicha evaluación probabilística fue originalmente propuesta por Cornell en 1968 y luego mejorada y ampliada por Algermissen en 1972 (Aguiar F., 1998).

El método está fuertemente influenciado por la cantidad y la calidad de los datos empleados. Existen aún muchas regiones sísmicas del mundo que no se cuentan con datos ya sea históricos como instrumentales, lo que no permite obtener resultados confiables. Por otro lado una base de datos basadas en registro instrumental es relativamente joven comparada con la escala de tiempo de los procesos tectónicos, donde ellos abarcan períodos de miles y de millones de años, por lo tanto la extrapolación hacia el futuro y la predicción a partir de datos asociados a períodos de tiempos relativamente cortos, no son del todo confiables.

De todas maneras estudios probabilísticos adecuadamente interpretados en relación a la sismicidad histórica y ellos asociados estrechamente a la tectónica local y regional permite contar con resultados valiosos para cuantificar la sismicidad futura y la amenaza sísmica de una región o de un país.

T. Algermissen (1972), propone evaluar el riesgo sísmico de acuerdo a lo indicado en la Figura 6. Un primer paso implica la individualización de las fuentes sísmicas, constituida por un sistema de fallas conocidas. La fuente puede ser cualquiera, zona generadora de sismos en general de conocida sismicidad (Sector A de la Figura 6).

Paso siguiente se gestiona la tasa media de la actividad sísmica de la fuente. Esta puede lograrse a través de las relaciones de recurrencia dadas por la expresión [1] (Sector B de la Figura 6).

$$\text{Log } N = a - b\,M \qquad [1]$$

N = Número de eventos de magnitud mayor a "M" por unidad de tiempo.
a y b = Constantes sísmicas características de cada región.

La expresión [1] es la relación de la recurrencia de los eventos de cierta magnitud (M) basada en eventos registrados en el pasado y que se supone como una representación válida para la actividad sísmica del futuro.

Finalmente la región o país se divide en una cuadrícula

ortogonal acorde (Sector C de la Figura 6), representada por líneas de latitud y longitud. Conociendo la distancia a la fuente y empleando curvas de atenuación adecuadas se calcula la aceleración máxima del terreno producida por la fuente definida en la parte (A) de la figura en puntos discretos definidos por los nodos de la cuadrícula. El proceso de cálculo se repite para todos los puntos nodales de la cuadrícula.

Los resultados para un sitio determinado permiten conocer la curva que indica el número de veces que puede darse un nivel dado de aceleración.

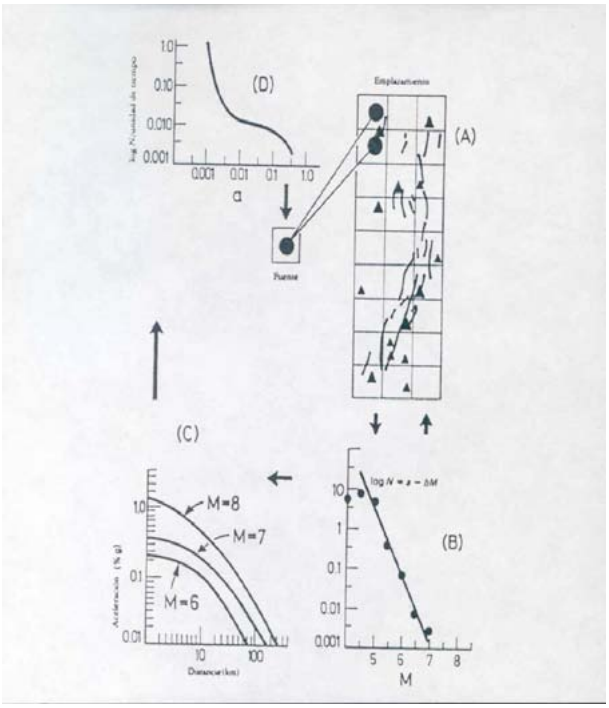


Figura 6. Metodología para la determinación del riesgo sísmico propuesta por T. Algermissen (1972).

Cuando se utilizan los métodos probabilísticos, la tasa media de la actividad sísmica es un dato determinante en el proceso de evaluación del riesgo sísmico Esta instancia se desarrolla una vez que se han individualizados las fuentes generadoras de eventos y se conoce, para cada una de ellas, los sismos asociados.

La tasa media de la actividad sísmica es un parámetro que cuantifica la frecuencia de los eventos sísmicos de distintas magnitudes por unidad de tiempo para una determinada área en estudio. Para cuantificar la relación de recurrencia de la actividad sísmica de una zona en estudio se usa generalmente la expresión propuesta originalmente por Ishimoto-Ida en 1939 y posteriormente adecuada por Richter-Gutemberg en 1944 (Expresion [1]) (Aguiar F. R., 1998).

La relación es lineal y se representa en una gráfica semilogaritmica. La constante “a” representa la intersección de la recta con el eje de las ordenadas y “b” es la tangente de la relación. Para utilizar la ecuación [1] para una región o para una determinada fuente sísmica se grafica el número de eventos de magnitud “M” o mayor ocurridos durante un período de tiempo dado y se recurre a un análisis de regresión lineal para determinar la línea que mejor se ajusta a los puntos graficados.

Es conocido que el valor de “a” varía significativamente, mientras que el valor de “b” puede variar, aproximadamente entre 0.5 a 1.5, en función del emplazamiento de la región sísmica. Estudios realizados sobre dicha temática han demostrado que el valor de “b”, varía entre 1.00 a 1.30 en regiones de baja sismicidad, y su valor disminuye a valores del orden de 0.50 a 0.70 cuando la actividad se incrementa. En la Figura 7 y 8, se pueden observar relaciones de recurrencia obtenidas para la zona del gran Mendoza (Oeste de la República Argentina), para eventos superficiales y para eventos profundos (Silva et al. 2002).

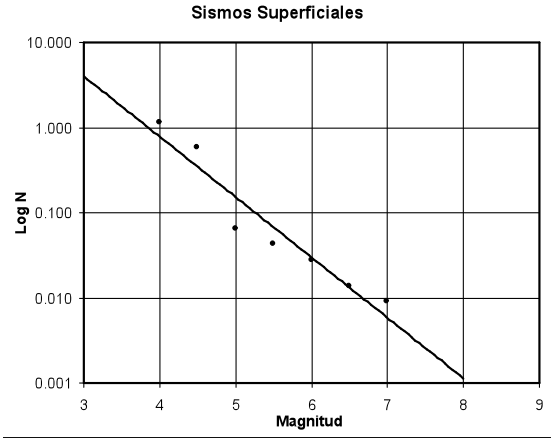


Figura 7. Relación Magnitud – Frecuencia para eventos superficiales (h < 70 Km.)

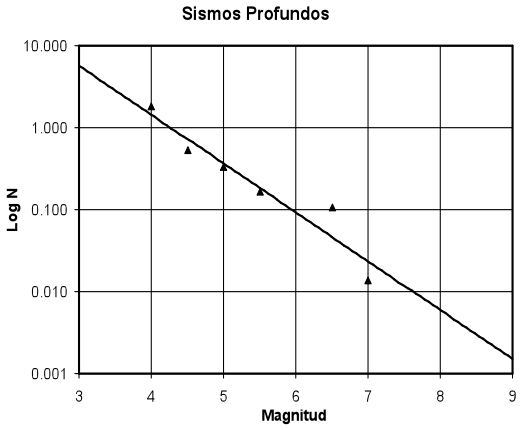


Figura 8. Relación Magnitud - Frecuencia para eventos profundos (h>70 Km.)

Los valores de tasa media anual para los dos casos estudiados del Gran Mendoza, arrojaron las expresiones [2] y [3].

Log N = 2,73 – 0,71 M (Para eventos superficiales) [2]
Log N = 2,.54 – 0,59 M (Para eventos profundos) [3]

Método del modelo de Poisson

Otra metodología para evaluar el riesgo sísmico utiliza el modelo de probabilidades de Poisson, el cual supone que los eventos en sus movimientos principales se producen de un modo aleatorio e independiente. Los tiempos de origen, las coordenadas de los focos y las magnitudes son variables independientes entre sí. Es decir que la ocurrencia de un evento, no tiene influencia en la ocurrencia de otro, y la probabilidad de que dos eventos sucedan en el mismo sitio y al mismo tiempo es casi nula.

La probabilidad de ocurrencia de "n" eventos en un intervalo de tiempo "T", para una tasa o frecuencia media "K", expresada en forma genérica por la ley de Poisson, viene dada por la expresión [4].

$$P_n(t) = \frac{e^{-KT}(KT)}{n!} \qquad [4]$$

Desde un punto de vista ingenieril se necesita conocer la probabilidad de que ocurra al menos un evento de magnitud igual o mayor a "M", en un período de tiempo "T". Esta probabilidad es determinada con la relación [5].

$$P = 1 - e^{(-KT)} \qquad [5]$$

En las Figuras 9 y 10 se ha graficado para el área del Gran Mendoza, la probabilidad de que ocurra al menos un evento de magnitud mayor o igual a "M" para intervalos de tiempo de 10, 50 y 100 años (Silva et al. 2002). Las gráficas corresponden a eventos sísmicos superficiales y profundos respectivamente.

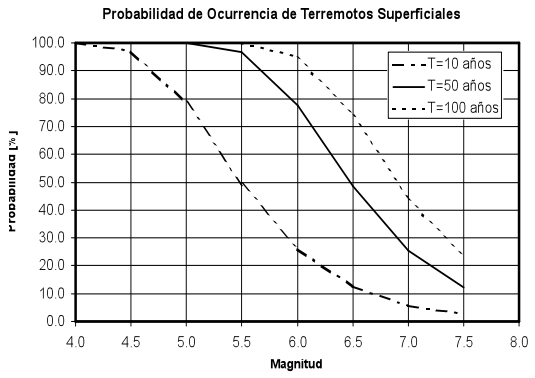


Figura 9. Probabilidad de ocurrencia para eventos superficiales (h < 70 Km.)

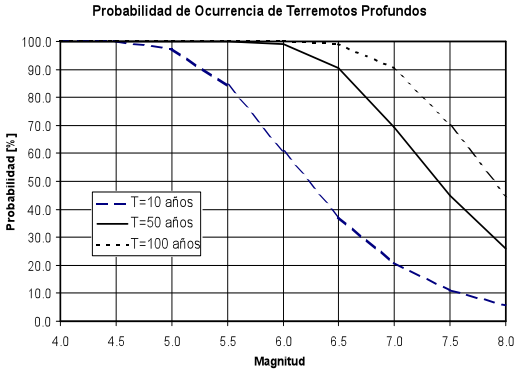


Figura 10. Probabilidad de Ocurrencia para eventos profundos (h > 70 Km.)

En la Figura 11 y 12 se muestra la probabilidad de ocurrencia de "n" eventos para un intervalo de tiempo de 50 años, para eventos superficiales y profundos el Gran Mendoza (Silva et al. 2002).

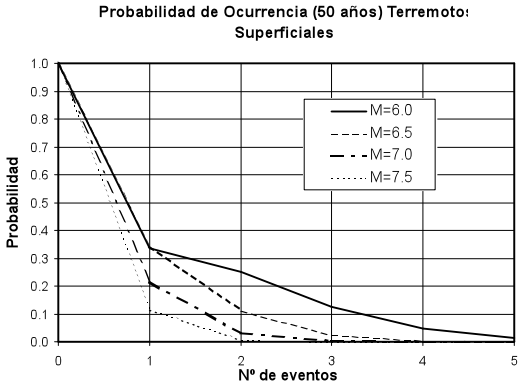


Figura 11. Probabilidad de "n" eventos en 50 años para sismos superficiales

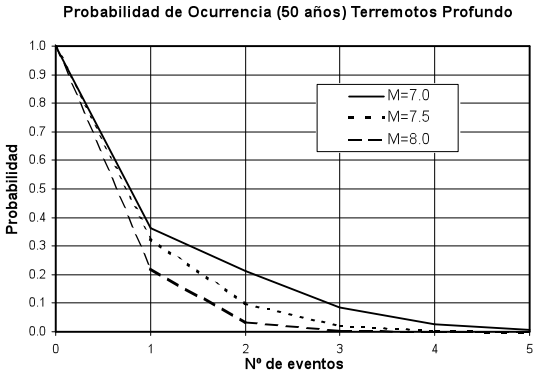


Figura 12. Probabilidad de "n" eventos en 50 años para sismos profundos.

Método Semiprobabilístico Markoviano

Se ha visto entonces que la metodología clásica de evaluación del riesgo sísmico en una determinada región consiste en calcular la probabilidad de que se sobrepase la aceleración máxima del suelo en un período determinado de tiempo, considerando la ocurrencia de terremotos como variables aleatorias independientes que siguen las leyes de un proceso estocástico del tipo Poisson. Para la evaluación se utiliza la ley de Gutenberg y Richter de sismicidad local, a partir de la cual

se determina el factor de intensidad del proceso de Poisson. El riesgo sísmico se determina usando dicho factor y las leyes de atenuación de la aceleración máxima, por ejemplo, con la magnitud de Richter y la distancia epicentral.

Sin embargo, se ha observado que la hipótesis de independencia de la ocurrencia de los eventos sísmicos que considera esta teoría, no concuerda con la naturaleza física de la acumulación de energía requerida para que ocurran grandes terremotos. Además, de acuerdo a la teoría de los huecos sísmicos, la probabilidad de ocurrencia de un gran terremoto depende en gran medida de la fecha de ocurrencia del último gran terremoto.

La regularidad observada para la ocurrencia de los sismos de magnitudes altas introduce una componente determinística en el proceso estocástico de ocurrencia de los terremotos. Este comportamiento sugiere entonces el uso de modelos con alguna dependencia temporal que relacionen las leyes de probabilidad con los eventos ya ocurridos.

El modelo denominado semi - Markoviano, agrega el conocido modelo de Markov basado en transiciones entre estados, la permanencia del sistema en un estado dado antes de efectuar una transición. Las leyes probabilísticas que caracterizan el proceso se aplican a sistemas que recién ingresan en un cierto estado, debiendo redefinirse para sistemas en transición, es decir, aquellos que tienen una permanencia conocida en un estado presente y para los cuales interesa definir las transiciones futuras.

El modelo ha sido utilizado por Pathwardan, Kulkarni y Don Tocher en la descripción de huecos sísmicos. En él se ha agregado el modelo semi - Markoviano clásico de descripción de la etapa de transición. Para ello se refiere la permanencia del sistema en su estado a una condición inicial. El tamaño del último gran sismo define el último estado del sistema y el tiempo transcurrido desde entonces la permanencia del sistema en ese estado.

Por lo tanto es necesario definir el último gran sismo ocurrido en la zona junto a los años de permanencia con respecto a la fecha que se produjo el último gran movimiento. El método permite definir distintos estados relacionados por ejemplo con la magnitud de los eventos esperados en la zona. A título de ejemplo puede indicarse:

Estado 1: $7.0 \leq Ms < 7.5$
Estado 2: $7.5 \leq Ms < 8.0$
Estado 3: $8.0 \leq Ms$

A partir de la colección de datos de los terremotos de magnitud, por ejemplo, $Ms \geq 7.0$ ocurridos en la zona en estudio es posible obtener las funciones de densidad de probabilidad de los tiempos de permanencia, por ejemplo, en el Estado 3.

Las funciones de densidad de probabilidad de los tiempos de permanencia, normalmente se suponen de tipo logaritmo normal y las expresiones que se utilizan son del tipo indicadas en [6] y [7].

Por ejemplo para el tiempo de permanencia del estado 3 al estado 2:

$$Ms \geq 8.0 \longrightarrow 7.5 \leq Ms < 8.0$$

$$P_{\tau 32}(\tau) = \frac{1}{0.74\sqrt{2\pi}} \frac{1}{\tau} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{Ln\tau - 3.50}{0.74}\right)^2\right] \qquad [6]$$

Por ejemplo para el tiempo de permanencia del estado 3 al estado 3:

$$Ms \geq 8.0 \longrightarrow Ms \leq 8.0$$

$$P_{\tau 33}(\tau) = \frac{1}{0.74\sqrt{2\pi}} \frac{1}{\tau} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{Ln\tau - 3.50}{0.74}\right)^2\right] \qquad [7]$$

$P\tau$ = probabilidad de ocurrencia de terremotos
τ = Tiempo de permanencia

Si se utilizan métodos semi¬probabilísticos markoviano en vez de poissoniano, para evaluar el riesgo sísmico ha permitido importantes reducciones en el costo de la rehabilitación de estructuras debido a que arrojan resultados más precisos y con menores incertidumbres.

Vulnerabilidad sísmica

La vulnerabilidad sísmica de una construcción o de un área urbana es la pérdida que experimenta un determinado elemento en riesgo producto de la ocurrencia de un fenómeno natural. En el caso de terremotos los elementos de riesgos corresponden a los edificios, líneas vitales, equipos e instalaciones industriales, población, etc.

Las pérdidas debidas a los daños que experimentan estos elementos es función de la intensidad del sismo. En particular para determinar las pérdidas en los edificios debe tenerse en cuenta que los niveles de daño se distribuye en forma no uniforme para un nivel de severidad. Existen dos métodos básicos para la predicción o estimación de los daños a esperar durante un terremoto: el método teórico (analítico) y el

método empírico (subjetivo) basado en la experiencia que han ocasionados terremotos pasados.

El método teórico relaciona los daños, tanto estructurales como no estructurales con los desplazamientos relativos entre pisos (deformación) o la posibilidad que tiene el sistema de disipar energía (deformación + energía). Para aplicar el método se requiere de un modelo teórico. Las limitaciones que existen para aplicar el método derivan de las dificultades para modelar matemáticamente el comportamiento de los distintos sistemas estructurales y de la falta de información sobre la relación entre el nivel de daño y el valor de los desplazamientos. A estas dos últimas incertidumbres se suma el desconocimiento de las leyes constitutivas de los materiales que conforman los elementos estructurales y los no estructurales.

El método empírico, utiliza la experiencia acumulada y el comportamiento demostrado por las construcciones en terremotos pasados. El método considera el valor promedio de los daños reales de todas las construcciones de un mismo tipo, expresado en porcentaje del valor de reposición. En éstos métodos los edificios se clasifican normalmente de acuerdo al material y con el sistema estructural que define la estructura sismorresistente.

Para cuantificar la vulnerabilidad sísmica de una construcción, se requiere evaluar las respuestas y daños de las diferentes obras considerando sus sistemas totales: suelo, fundaciones, superestructura, elementos no estructurales y contenidos de las construcciones. La Vulnerabilidad sísmica de una construcción está asociada a las respuestas y daños de las diferentes obras, considerando sus sistemas totales. En el caso de edificios la vulnerabilidad sísmica puede deberse a aspectos funcionales, daños no estructurales, estructurales y en algunos casos de edificios complejos, toman importancia aspectos organizacionales.

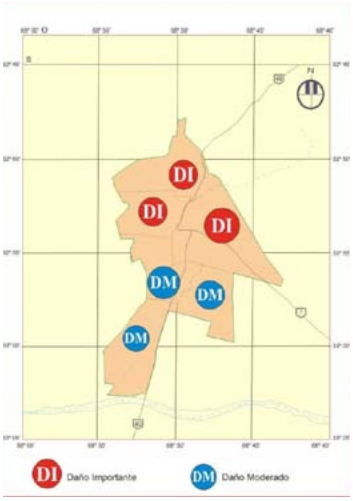


Figura 13. Distribución de los niveles del daño en el Gran Mendoza.

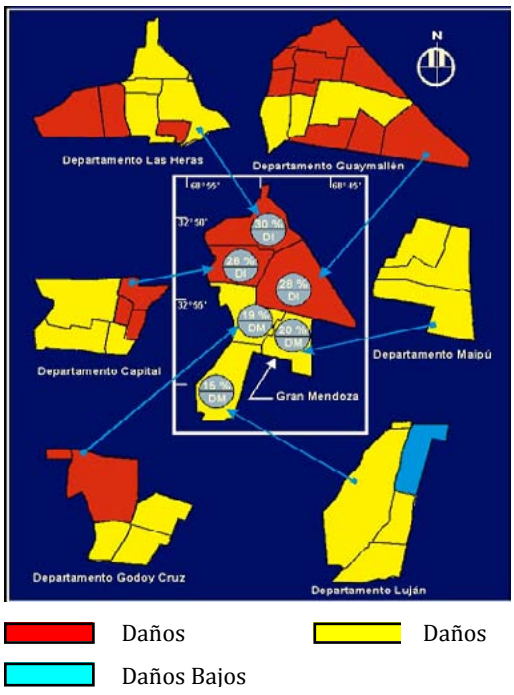


Figura 14. Distribución de los niveles del daño por Departamentos que conforman el Gran Mendoza.

A la fecha no existe un estudio actualizado que indique el grado de vulnerabilidad sísmica de las construcciones en general y mucho menos de la infraestructura urbana y de servicios. Por lo tanto el estado provincial y nacional no cuenta con herramientas concretas que permitan tomar acciones futuras para planificar la emergencia. Trabajos anteriores indican, solamente para las construcciones en general, la situación de las mismas desde el punto de vista sísmico (Microzonificación sísmica de la Provincia de Mendoza, 1989) y el nivel de daño que podía esperarse para las mismas, pero es importante citar que la información requiere de una urgente actualización. En la Figura 13 se indica el nivel de daños esperado en la zona del Gran Mendoza y en la Figura 14 el mismo nivel por Departamentos que conforman el área.

Control y reducción de la vulnerabilidad sísmica

Los resultados presentados en el trabajo indican el riesgo y peligro sísmico de la región, por lo tanto, un gran número de edificios existentes necesitan intervención, ya sea, por razones sísmicas o porque han sufrido daños como consecuencias de movimientos sísmicos importantes y por último porque necesitan ser adecuados a los códigos de última generación.

En los últimos años fueron investigadas distintas técnicas de rehabilitación, la mayoría de ellas relacionadas con el hormigón armado y en menor medida edificios estructurados con acero y mampostería. Después de experiencias con daño significativo en edificios, debido a importantes terremotos destructivos, particularmente aquello que afectaron áreas urbanas densamente pobladas (Miyagiken-oki, Japón 1978,

Ciudad de México 1985, Loma Prieta Estados Unidos, 1989, Horthridge, 1995, Kobe, 1995, China, 2008 y L´Aquila, Italia, 2009), fueron informados muchos casos de prácticas de rehabilitación así como desarrollos de técnicas de rehabilitación en los trabajos de investigación de la especialidad.

Esto indica que la importancia de la rehabilitación sísmica de edificios existentes ha sido reconocida año tras año en nuestra sociedad. El terremoto de Northridge (1994) y Kobe (1995), han alertado a nuestras sociedades en reconocer la importancia que tienen los efectos de los terremotos para los edificios vulnerables existentes. Las construcciones en general pueden necesitar un aumento de resistencia o ductilidad. Generalmente se rehabilitan de modo que su comportamiento sísmico mejore y pueda satisfacer el comportamiento requerido por el código vigente.

Los objetivos del refuerzo sísmico son para proporcionar un aumento de la resistencia o de la ductilidad o una adecuada combinación de estos dos hechos, de modo de satisfacer el comportamiento sísmico requerido.

Técnicas tradicionales

Si bien han sido muy utilizadas en el pasado y en algunos casos continúan empleándose presentan el inconveniente de su difícil implementación, su marcada invasión en los elementos estructurales existentes. Tienen la desventaja que no garantizan de que no serán dañadas por terremotos futuros, por lo tanto, hoy son menos recomendables desde el punto de vista del avance tecnológico logrado por la ingeniería sísmica en tal sentido. En la Figura 15 se indican, de manera esquemática, las distintas estratégicas utilizadas por las técnicas tradicionales.

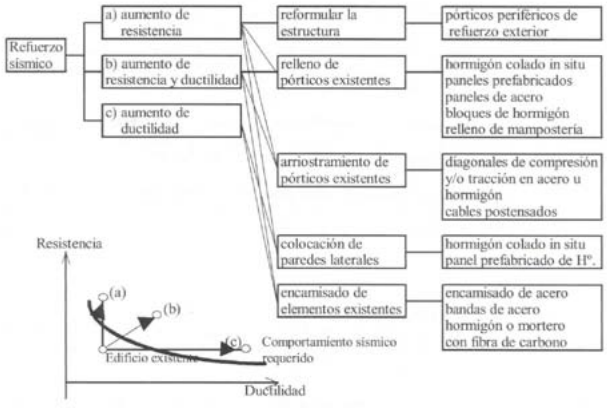


Figura 15. Estrategias utilizadas por los métodos tradicionales para reducir la vulnerabilidad de las construcciones existentes.

Técnicas Innovativas de aislamiento sísmico de base y disipación de energía

El objetivo del aislamiento símico es desacoplar la estructura de los movimientos de suelo frente a la ocurrencia de terremotos. En consecuencia se evita que la superestructura sea la responsable de disipar la energía entregada por el terremoto. La totalidad de la estructura debe ser soportada en puntos discretos por dispositivos especiales llamados aisladores, los cuales poseen características dinámicas especiales para desacoplar la estructura de los movimientos del terreno. Los desplazamientos máximos y la no linealidad se concentran a nivel del sistema de aislamiento, mientras que la superestructura se comporta como un bloque rígido por encima del mismo. Los aisladores pueden ser diseñados y construidos con un control de calidad que supera ampliamente los estándares habituales de la construcción civil, con la ventaja que pueden ser inspeccionados y eventualmente reemplazados como un dispositivo de repuesto. Por el contrario la reparación de los elementos dañados de una estructura no resulta una tarea simple ni tampoco de es esperarse adecuados resultados frente a terremotos importantes.

Los sistemas de aislamiento sísmico más comunes utilizan aisladores de goma (o elastoméricos) y del tipo friccionales (de péndulo invertido). Los primeros generalmente se utilizan con amortiguadores viscosos encargados de aumentar el amortiguamiento del sistema de aislamiento para controlar los elevados desplazamientos que se obtienen como respuesta frente a terremotos asociados a falla cercana (Tornello et al., 2005). Los terremotos de carácter vibratorio y de epicentros más alejados no necesariamente imponen desplazamientos importantes, por lo tanto no es necesario valores elevados de amortiguamiento. Los aisladores de goma, de bajo y alto amortiguamiento, con y sin núcleo de plomo, vulcanizadas a láminas de acero, son los exponentes más representativos de éste primer grupo.

Los aisladores elastomericos son conocidos con el nombre de “neozelandés” (NZ) debido a su origen (Figura 16). Los valores posibles de amortiguamiento son del 15% como máximo. La relación entre fuerza – deformación (Figura 17) de éstos aisladores no son lineales por lo tanto el diseño debe realizarse en ámbito de la no linealidad. Este último es el resultado de un comportamiento lineal de la goma más uno no lineal del plomo.

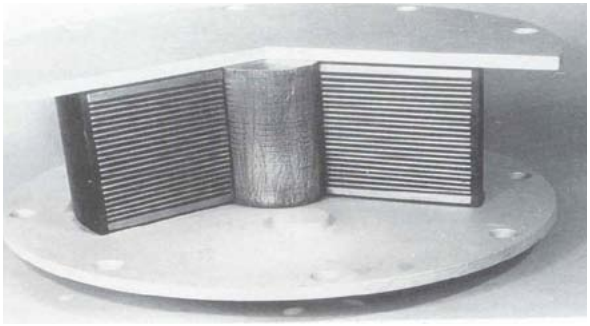


Figura 16. Esquema general del aislador elastomérico.

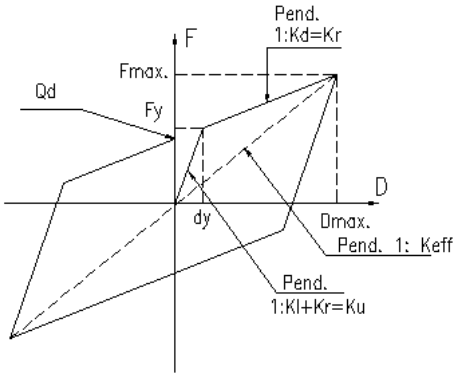


Figura 17. Modelo histerético de la relación fuerza – desplazamiento de un aislador elastomérico.

Los dispositivos pueden ser caracterizados por su rigidez vertical y horizontal, por su periodo y por la carga critica efectiva debido a su reducción de área durante el desplazamiento horizontal (Tornello et al., 2006).

Los aisladores friccionales utilizan, en la interfase acero inoxidable y teflón (polytetrafluoroetileno PTFE) y la fricción se desarrolla dentro de una superficie cóncava y esférica (Zayas et al., 1990 y Mokha et al., 1990). El dispositivo emplea el peso propio de la estructura para re centrar el edificio y con ello minimiza los desplazamientos finales permanentes. Los materiales utilizados son el acero inoxidable (superficie esférica) y PTFE (patín de deslizamiento) (Figura 18). Ensayos realizados sobre aisladores friccionales indican un comportamiento no lineal del mismo (Figura 19) por lo tanto el diseño del sistema de aislamiento debe realizarse en el rango no lineal.

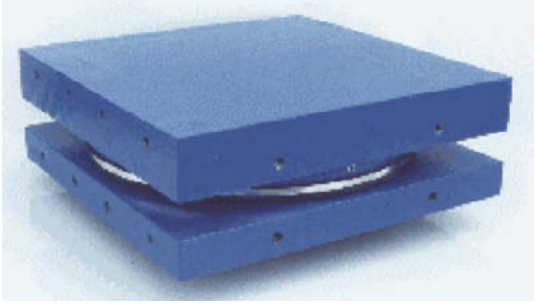


Figura 18. Esquema general del aislador Friccional (FPS).

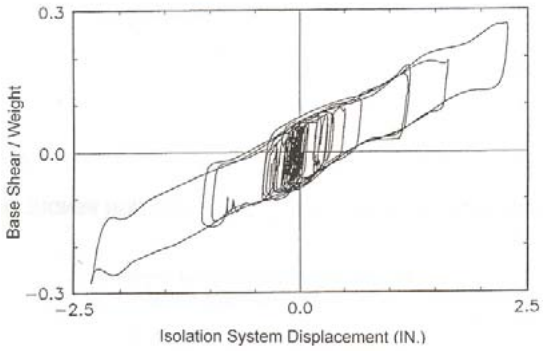


Figura 19. Modelo histerético de la relación fuerza – desplazamiento de un aislador FPS.

Estos dispositivos pueden caracterizarse por las fuerzas disipativas de fricción y por el periodo secante del conjunto aislado (Tornello et al., 2006).

Los sistemas basados en resortes helicoidales de acero comenzaron a aplicarse en máquinas de pequeño porte y luego se extendieron a fundaciones de máquinas pesadas e instalaciones industriales de importancia. Sin embargo en los últimos años se han realizado estudios sobre la respuesta de estructuras aisladas utilizando dichos sistemas (P. Nawrotzki, 2000; J. Stuardi et al., 2005 y M. Tornello et al., 2005), cuando las mismas son sujetas a terremotos. El sistema está conformado por paquetes de resortes con baja rigidez en sentido horizontal y vertical. Para aumentar el amortiguamiento del sistema de aislamiento se instalan, junto a los resortes, amortiguadores visco-elásticos (Figura 20). Los dispositivos presentan como característica una rigidez lineal, tanto horizontal como vertical y un amortiguamiento cuyo comportamiento se aproxima al lineal viscoso (Figura 21).

Figura 19. Aisladores de resortes y Amortiguadores viscosos (Gerb ®)

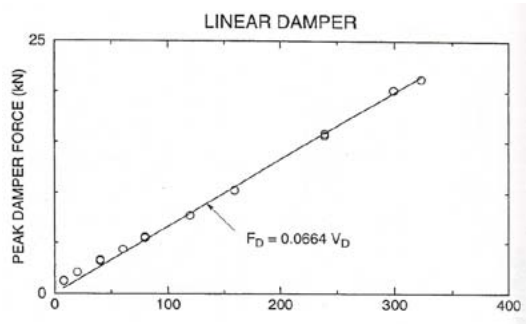


Figura 20. Relación entre fuerza máxima de amortiguamiento y valor máximo de velocidad.

Si bien los dispositivos de aislamiento sísmico son más adecuados para obras nuevas, existen antecedentes sobre la recuperación estructural de edificios existentes debido a bajo impacto arquitectónico en relación con los dispositivos de disipación de energía. En la Figura 21 se muestra los trabajos de recuperación estructural y reducción de la vulnerabilidad sísmica mediante el empleo de dispositivos de aislamiento sísmico de base en el edificio de la Corte de apelaciones de San Francisco en Estados Unidos (Naeim y Kelly, 1999).

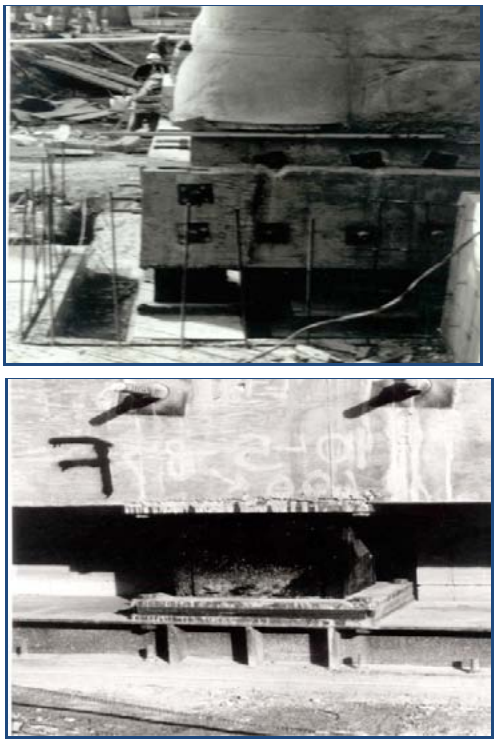


Figura 21. Recuperación estructural y reducción de la vulnerabilidad sísmica con aislamiento sísmico de base.

Los sistemas de disipación pasiva de energía permiten mejorar el desempeño de una estructura sometida a terremotos, incorporando dispositivos destinados a disipar energía en forma controlada. De esta manera pueden disminuirse o eliminarse en la estructura principal las zonas diseñadas para la ocurrencia de deformaciones plásticas durante un terremoto destructivo. Se logra entonces reducir o eliminar el daño en la estructura principal, concentrando el mismo en los disipadores de energía, los cuales pueden reemplazarse luego de un evento sísmico importante. El costo de la sustitución de los dispositivos será menor al de la reparación de la estructura principal si no hubiera tenido los mismos, y no será necesario desalojar el edificio para esta operación.

Se tiene una gran variedad de disipadores de energía, los cuales pueden clasificarse en (Soong y Dargush, 1997): disipadores histeréticos (tal como la tipología mostrada en Figura 1), disipadores viscoelásticos (sólido y líquido), y disipadores de fluido viscoso.

Vista general del edificio

Vista de riostras y disipadores

Figura 22: Disipadores histeréticos en la Torre Titanium de Chile (según www.sirve.cl).

Mayores detalles de los disipadores mencionados, y de aplicaciones de sistemas de disipación pasiva en edificio, pueden encontrarse en Soong y Dargush (1997), Soong y Spencer (2002) y Whittaker y Constantinou (2004).

Conclusiones

Los resultados presentados y disponibles indican un importante riesgo sísmico de la región y un marcado peligro sísmico de unas de las regiones más densamente pobladas del oeste argentino como es el Gran Mendoza.

No existe, por parte del gobierno provincial o nacional, políticas que permitan desarrollar y conocer la vulnerabilidad de la infraestructura vial, de servicios y edilicia de la región sobre todo, la de los edificios esenciales que deberán atender la emergencia pos-terremoto.

Los resultados presentados y disponibles indican una importante vulnerabilidad sísmica de las construcciones existentes del Gran Mendoza sin embargo, es necesaria una urgente actualización de la información.

Es importante definir estrategias de recuperación estructural que tiendan a reducir la vulnerabilidad existente, salvaguardar vidas humanas, evitar pérdidas económicas del estado y del privado y disminuir el retraso socio-económico que producirá en la región la ocurrencia de un terremoto importante.

Existen en la región y en el ámbito de la Facultad Regional Mendoza de la UTN antecedentes y experiencias locales que avalan la eficiencia de dispositivos de aislamiento sísmico de base y disipación de energía para ser utilizadas como estrategias de protección sísmica que permitirán reducir las vulnerabilidades de las construcciones existentes.

Los sistemas innovativos de protección sísmica tratados en el presente trabajo cuentan con un desarrollo tecnológico probado a nivel mundial de tal manera que los posiciona más convenientemente con relación a los sistemas de recuperación o rehabilitación estructural basados en técnicas tradicionales.

Agradecimientos

El trabajo ha sido desarrollado dentro del marco del Proyecto de Investigación Estructuras edilicias con dispositivos de protección sísmica emplazadas en regiones cercanas a fallas activas (25/J062), financiado por la UTN. Se agradece a las autoridades de Facultad Regional Mendoza de la UTN, por el apoyo brindado a los autores para el desarrollo del trabajo.

Bibliografía

- Aguiar Falconi R. (1998). "Peligrosidad Sísmica. Vulnerabilidad Sísmica en Edificios de Hormigón Armado". Ecuador, Escuela Politécnica del Ejército.
- A Frau, C. D. y G. R.Saragoni (2005b). Demanda sísmica de fuente cercana. Situación del Oeste Argentino. Congreso Chileno de Sismología e Ingeniería Antisísmica, IX Jornadas, Concepción, Chile.
- FEMA 356 (2000). Prestandard and commentary for the seismic rehabilitation of buildings. Federal Emergency Management Agency. Washington D.C., United States.
- INPRES, (1977). Zonificación sísmica de la República Argentina. Publicación Técnica Nº 5. Instituto Nacional de Prevención Sísmica. San Juan. Argentina.
- INPRES. (1981). Análisis sismotectónico y su aplicación a la estimación del Peligro Sísmico. El sismo de Tucumán del 9 de mayo de 1981. Publicación técnica Nº 7. Instituto Nacional de Prevención Sísmica. San Juan. Argentina.
- INPRES (1989). Microzonificación Sísmica del Gran Mendoza. República Argentina (1989). Poder Ejecutivo Nacional. Ministerio de Obras y Servicios Públicos. Secretaria de Obras Públicas. Instituto Nacional de Prevención Sísmica.
- INPRES CIRSOC 103 (Parte I). Construcciones Generales (1983). "Normas argentinas para construcciones sismorresistentes". Instituto Nacional de Prevención sísmico (INPRES). Centro de Investigaciones de los Reglamentos Nacionales de seguridad de Obras Civiles (CIRSOC).
- Mokha A.S, M. C. Constantinou & A. M. Reinhorn. (1990). Experimental Study and Analytical Prediction of Earthquake Response of Sliding Isolation System with a Spherical Surface. National Center for Earthquake Engineering Research. NCEER-90-0020. State University of New York at Buffalo,
- Naeim F; Kelly J. M., (1999). Design of Seismic Isolated Structures. Edit. John Wiley & Sons, Inc. Printed in the United States of America.
- Nawrotzki P., (2000). Some Strategies for the reduction of seismic structural responses. The first International Conference on Structural Stability and Dynamics. Tapei. Taiwan.
- Silva E, Tornello M, Frau C, Galdame I. (2002). "Caracterización de la relación magnitud – frecuencia para fuentes sismogénicas próximas al conurbano de la ciudad de Mendoza". VIII Jornadas Chilenas de Sismología e Ingeniería Antisísmica. Vol. 1. CD. Paper 67.
- Soong, T. y Dargush, G. (1997). Passive energy dissipation systems in structural engineering. John Wiley & Sons.
- Soong, T. y Spencer Jr, B. (2002). Supplemental energy dissipation: state-of-the-art and state-of the-practice. Engineering Structures, volume 24, pages 243-259.
- Stuardi J., Mazza J & A. Brewer (2005).. Eficiencia de sistemas de aislamiento símico basado en resortes helicoidales y amortiguadores viscosos comparada con aisladores tradicionales de goma-metal. VIII Congreso Argentino de Mecánica Computacional. CD 16-18. Buenos Aires, Argentina,
- Sugano, S. (2007). Seismic rehabilitation of concrete structures. American Concrete Institute, International Publication Series, IPS-2.
- Tornello M.E. & Sarrazin Arellano M. (2005). Respuesta estructural de dos sistemas de aislamiento sísmico frente a terremotos de falla cercana. Congreso Chileno de Sismología e Ingeniería Antisísmica. IX Jornadas. Paper A13-04. CD SIN 07118-2678. Concepción. Chile,

- Tornello M. & M. Sarrazin Arellano (2005), Control de desplazamientos de sistemas de aislamiento sísmico de base para terremotos de falla cercana. Primer encuentro de investigadores y docentes de Ingeniería. EnIDI. SIN 987-43-9997-X. Mendoza.
- Tornello M, Sarrazin M. (2006). Aislamiento sísmico para controlar los efectos de los terremotos en las construcciones. II Encuentro de Investigadores y Docentes de Ingeniería 2006. Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Cuyo., Facultad Regional Mendoza. UTN. Mendoza. Argentina.
- Whittaker, A.S., Constantinou, M.C., Ramirez, O.M., Johnson, M.W. y Chrysostomou, C.Z. 2003. Equivalent lateral force and modal analysis procedures of the 2000 NEHRP provisions for buildings with damping systems. Earthquake Spectra, Vol. 19, No. 4, pp. 959-980.
- Zayas V.A., S. S. Low & S. A. Nahin, (1990). A simple pendulum technique for achieving seismic isolation. Earthquake Spectra, 6 (2), 317-334.

UNA CLASIFICACIÓN DE LA LLUVIA EN CUYO DESDE UNA PERSPECTIVA GLOBAL POR MEDIO DE UN MAPA AUTO ORGANIZADO DE REDES NEURONALES

Vargas, Walter Mario (1)
Huggenberger, Dario Alberto (2)
(1) Departamento de Ciencias de la Atmósfera. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. Universidad de Buenos Aires. Pabellón 2, 2º Piso. Ciudad Universitaria (1428) – Buenos Aires (CABA), Argentina. TE: 054-011-45763356 / FAX: 054-011-45763356. E-mail: vargas@at.fcen.uba.ar
(2) Facultad Regional "Delta". Universidad Tecnológica Nacional, San Martín 1171 (2809) Campana, Buenos Aires, Argentina. TE: 054-03489-420400 / FAX: 054-03489-420400, E-mail: dhuggenberger@frd.utn.edu.ar

Palabras Clave
- variabilidad climática
- precipitación
- redes neuronales
- mapas auto organizados

Resumen
Se aplica una red neuronal consistente en un mapa auto organizado de Kohonen de cuatro capas esféricas entrenado por recirculación para caracterizar y regionalizar los patrones de anomalías de precipitación global. En el marco de esta clasificación y caracterización se analizan los patrones típicos de anomalías en la precipitación sobre áreas de Cuyo y vincula con patrones similares de anomalías a escala global. Se observan cuatro patrones de anomalías en los que predomina una disminución progresiva en las lluvias entre 1950 y 1980 con leve recuperación en la década de 1990. Cuatro regiones presentan características diferenciadas: el extremo nordeste de la región, el oeste, el extremo sudoeste y la parte oriental. En términos globales el norte y oeste de la región se asocian al régimen de zonas áridas y desérticas, mientras que la variabilidad de la precipitación en el sudoeste y el oriente de Cuyo se asimila a anomalías sobre el Pacífico sur y oriental por una parte, y al Atlántico sur y su conexión con el Índico al sur de África por otra, y presenta teleconexiones con la variabilidad de la lluvia en el Pacífico ecuatorial oriental entre otras regiones del Globo.

Introducción

El problema de la clasificación y caracterización de patrones es uno de los más tratados y de más amplia variedad de abordaje. Las técnicas más usuales recurren a análisis de tipo estadístico. En estas metodologías se recurre a hipótesis acerca del comportamiento estadístico de algunos de los parámetros de las distribuciones involucradas, por lo tanto subyacen conceptos teóricos previos y externos al sistema bajo estudio. En técnicas como el análisis de componentes principales se impone la jerarquía en términos de la varianza explicada y la caracterización contiene el requisito de la ortogonalidad entre componentes. Se intentará abordar el problema desde la perspectiva de las redes neuronales, es decir, de un desarrollo matemático que procura simular la operación del sistema nervioso, en particular del cerebro humano. En el presente trabajo la técnica se aplica a los fines de clasificación de elementos y extracción de patrones sintéticos como características representativas de grupos de series temporales. Este enfoque del problema de clasificación tiene la ventaja primordial de procurar simular la operación de caracterización, agrupamiento y clasificación que realiza el cerebro humano. No impone un requisito de ortogonalidad y pocos condicionamientos asociados a un modelo teórico. Además se ofrece como un procedimiento robusto y simple desde el punto de vista de los algoritmos matemáticos involucrados.

Desde los años 80 el uso de redes neuronales se fue ampliando alcanzando el dominio de las ciencias de la atmósfera. En general las aplicaciones de redes neuronales basadas en mapas auto organizados de Kohonen se centran en el objetivo de la clasificación de patrones sinópticos (Turiasa et al. 2006), zonificación climática (Björn and Amos 1999), en el que se combina la aplicación de mapas auto organizados con componentes principales, clasificación de patrones de variables hidrológicas (Hall et al., 2002). Los mapas auto organizados se han aplicado también en la clasificación de situaciones sinópticas con fines de evaluar su frecuencia e impacto sobre un río de Sudáfrica en escenarios esperables bajo un cambio climático (Steynor et al. 2006). También se han aplicado en la clasificación de patrones de circulación sobre la base de datos de viento en altura (Fayos, 2007), clasificación de imágenes de satélite (Kilpatrick, 1995), clasificación de distribuciones de precipitación (Michaelides, 1998), clasificación de situaciones propicias para el desarrollo

de heladas (Cogliati et al., 2006).

Las redes de Kohonen (Kohonen, 2001), más conocidas como "mapas auto organizados de Kohonen", se ofrecen como una herramienta útil para clasificar y caracterizar patrones de señales. Un mapa auto organizado de Kohonen se orienta al objetivo de modelar el funcionamiento de la corteza del cerebro. Se ha observado que en la operación normal del cerebro hay distintas regiones que se han especializado en el procesamiento de cierto tipo de información. La red de Kohonen simula el proceso de especialización a partir de un estado neutro de una red neuronal presentando ejemplos a la red y configurando patrones de pesos sinápticos progresivamente adaptados a los ejemplos presentados. En lo que sigue se pretende rescatar algunas analogías entre el funcionamiento del sistema nervioso en los procesos neuronales involucrados en la recepción de un estímulo, generación de una sensación, la respuesta de una percepción y la elaboración de una abstracción.

Metodología

En el marco del trabajo que aquí se desarrolla se entenderá por "estímulo" la señal expresada como una serie o secuencia de valores numéricos. La "sensación" será el patrón de actividad de un conjunto de neuronas a un "estímulo" externo expresada como la integración de la señal en un único número dentro de la red. La "percepción" consistirá en el patrón de respuesta de neuronas internas a la sensación en términos de una secuencia de valores numéricos que maximice la similitud con el patrón de entrada o estímulo. La "abstracción", en cambio, se relaciona con en el patrón de actividad de las neuronas internas en ausencia de sensación y percepción pero permite reconstruir una imagen interna a la red representativa de los estímulos y estable, lo que se expresa numéricamente en el patrón de pesos sinápticos que elaboran la respuesta de la red. La abstracción establece de esta manera la caracterización de rasgos y patrones en los cuales no se identifican los casos individuales sino las generalidades representativas del conjunto de elementos presentados a la red y representados por el patrón típico, que así permiten clasificar y reconstruir parcialmente los patrones de entrada en ausencia del estímulo, operando como un filtro de ruido en la señal.

Un mapa auto organizado típico consiste en una red plana bidimensional que recibe señales de entrada por medio de un conjunto de conexiones expresadas por medio de pesos sinápticos. Una red de Kohonen puede ser empleada con fines de clasificación de patrones, pero también puede ser utilizada para analizar los patrones de pesos sinápticos de la red a modo de síntesis de estructuras recurrentes en los patrones de entrada. En tal caso, además de ser usada con fines de clasificación, puede ser usada como herramienta para la tipificación, es decir, para la extracción de rasgos generales con un filtrado de componentes de ruido aleatorio en la señal y de variabilidades de poca relevancia destacando las características de mayor interés en las señales en el sentido de configurar un modelo empírico, abstracción o generalización inductiva a partir de ejemplos.

Uno de los problemas de las redes bidimensionales planas radica en los condicionamientos de borde que impone un plano con límites laterales. Este problema se manifiesta de manera más intensa si se procura simular una geometría esférica como la de la Tierra. Este efecto de borde se tratará de resolver por medio de una red bidimensional de neuronas equidistantes en términos angulares en la superficie de una esfera. Las ubicaciones se definen por medio de vectores de módulo unitario que identifican la localización de las neuronas de la red.

Otro de los aspectos singulares del método propuesto consiste en aplicar el procedimiento de recirculación al entrenamiento de la red (Hinton, 1988). Este procedimiento consiste en interconectar las neuronas visibles por medio de pesos sinápticos dirigidos hacia las neuronas ocultas. Cada una de las neuronas ocultas sintetiza la información recibida o estímulo sobre las neuronas visibles, a modo de sensación sobre las neuronas ocultas, en un único parámetro. Un conjunto de pesos sinápticos inversos, de las neuronas ocultas dirigidos a las visibles, devuelve una imagen a modo de una percepción de la sensación original generada a partir del parámetro escalar o imagen interna de la red. Los mismos pesos sinápticos directos generan una nueva síntesis interna escalar como reflexión de la percepción sobre la neurona interna que la generó. El procedimiento de recirculación consiste en modificar los pesos directos e inversos de manera tal que los parámetros que definen la imagen interna de la sensación directa y de la percepción reflejada converjan a un mismo valor, a la vez que la percepción se aproxime progresivamente al patrón presentado por el estímulo externo. En el método original de Hinton la red interna es de menor dimensión que la externa, pero no de una única neurona. Por lo tanto lo que se obtiene es una compresión de la información de entrada en un patrón de memoria distribuida. La memoria distribuida permite que la información original no se pierda de manera total si se altera la información contenida en una de las neuronas, pero también dificulta la interpretación de los patrones almacenados en la red. Al utilizar una única neurona como síntesis interna, se pierde el beneficio de la distribución llevando en cambio la compresión al límite y posibilitando que el patrón de pesos sinápticos almacenados en esa única neurona pueda ser interpretado como una síntesis de los ejemplos presentados a la red.

El siguiente esquema sintetiza el proceso de la señal por la red propuesta.

Ambiente (Estímulo Xo) → Neurona visible (Wd) → Neurona interna (Sensación Y1 = Wd.Xo).
Neurona visible (Percepción X2 = Y1 Wi) ← (Wi) Neurona interna.
Neurona visible (Wd) → Neurona interna (Imagen perceptiva Y3 = Wd X2).

A la presentación de sucesivos patrones a la red a modo de estímulos, diferentes en aspectos singulares pero con elementos similares que los hacen de algún modo generalizables, la red sintetiza el estímulo en una sensación y responde por medio de una reflexión interna con percepciones, tanto más realistas cuanto más se asimilen al estímulo, en la medida que la sensación directa o síntesis del estímulo sobre las neuronas internas convergen con la imagen perceptiva o síntesis de la percepción sobre la misma neurona interna.

Percepción (X2) → Estímulo (Xo)
Sensación (Y1) ←→ Imagen perceptiva (Y3)

La estructura de la percepción se encuentra sintetizada en los patrones vectoriales de pesos sinápticos inversos (Wi), que reconstruyen la señal original a partir de un único parámetro escalar (Y1). Entre todas las percepciones de la red, el entrenamiento de Kohonen especializa algunas neuronas, las que responden con mayor similitud al patrón de entrada, en reconocer tales patrones, por lo tanto los pesos sinápticos inversos adquieren la forma típica de la señal de entrada, es decir, no los aspectos singulares de cada señal, sino los aspectos más generales y relevantes que las caracterizan. Por lo tanto los patrones inversos contienen una representación abstracta de la señal de origen, donde el término "abstracción" se utiliza en el sentido de no representar una señal en especial sino los aspectos típicos, generales y relevantes para su reconocimiento, que además persisten como una característica adquirida de la red al entrenamiento. De esta manera la red configura una abstracción como resultante del proceso mismo de percepción, en otras palabras, la percepción opera como un mecanismo primario de abstracción.

Aplicando la misma definición de distancia entre los patrones individuales de información o estímulos presentados a la red y las percepciones de las neuronas para identificar la más parecida como criterio de similitud entre los patrones abstraídos por la red y los estímulos originales, se obtiene una clasificación de tales señales de entrada en términos de las abstracciones resultantes de la red. Para ello es suficiente que a partir de los estímulos originales y recorriendo los patrones sinápticos inversos, en los que se sintetiza la percepción, se los clasifique en función de la neurona por la cual resultan mejor representados.

Una de las ventajas adicionales de la red es la robustez en el sentido de no depender sensiblemente de las funciones de ajuste iterativo que definen el ritmo de entrenamiento y el radio de vecindad. Se ha probado distintas funciones de vecindad y velocidades de aprendizaje, no obteniendo diferencias apreciables y relevantes en las conclusiones entre las distintas pruebas. Las características de las funciones de velocidad y vecindad han sido, en todos los casos probados, de carácter monótono decreciente.

La red se compone de cuatro capas esféricas. Una primera capa de neuronas sensibles transfiere los estímulos como sensación a la capa de neuronas internas. Esta capa sensible o externa se configura con 18142 puntos de grilla sobre la superficie de la Tierra y los estímulos se expresan como series temporales correspondientes a esos puntos de grilla. La primera capa interna se configura sobre 256 neuronas dispuestas sobre una red esférica. No hay un criterio objetivo para configurar la red con el número de neuronas planteado, pero las pruebas realizadas con diferente número de neuronas, si bien en el mismo orden de magnitud, ofrecieron resultados similares a los que se presentarán. La segunda capa interna es entrenada a partir de las reconstrucciones generadas en la primera capa sobre 64 neuronas según el mismo procedimiento. De la misma manera se entrena una tercera capa interna con 16 neuronas y una cuarta capa interna con cuatro neuronas.

Es claro que quedan elementos condicionados por el criterio casi arbitrario del investigador, es decir, la definición de distancia, la definición de pertenencia, el número de neuronas involucradas, el número de capas, las funciones de respuesta, las funciones de interconexión de neuronas entre otros elementos necesarios para la definición del método, en los que de una u otra manera persisten criterios euclidianos de linealidad. No se pretende por ello que los patrones típicos y la clasificación resultante sean más realistas, o más confiables que las resultantes de otros métodos, pero sí se espera ofrecer una herramienta de clasificación diferente, consistente con los procesos mentales de clasificación y abstracción de patrones, obteniendo resultados que en cierta medida resultan novedosos con respecto a métodos estadísticos o bien otros matemáticamente más formales de clasificación. No se pretende tampoco simular estos procesos en términos fisiológicos sino solamente en un contexto matemático con el fin de ser aplicado a la clasificación y caracterización de patrones de señales.

Sobre la base de una esfera con N1 (N1 = 256) neuronas se

efectúan 500*N1 lecturas de series seleccionadas en forma aleatoria a partir de una base de datos. El primer proceso de recirculación se elabora a partir de un vector de entrada X0 (estímulo) y un vector aleatorio de pesos directos (de la entrada a la neurona de la red) Wd para cada neurona de la capa. Se genera así un campo escalar Y1 (sensación directa) que es transformado por medio de una tangente hiperbólica en el intervalo (-1, 1). Este vector genera patrones X2 (percepción) correspondientes a cada uno de los X0 por medio de un vector de pesos inversos para cada neurona Wi. La percepción genera una segunda imagen interna Y3 a través de los pesos sinápticos directos Wd (sensación secundaria o sensación percibida). Se comparan en términos de una norma euclidiana los vectores X0 con X2 (estímulo con percepción) seleccionando la neurona cuya percepción se ajusta mejor al estímulo recibido. Simultáneamente se compara la sensación directa con la sensación percibida (Y1 con Y3) y modifican los pesos sinápticos Wd y Wi de manera tal que de forma iterativa la percepción se aproxime al estímulo y que simultáneamente la sensación directa y la sensación percibida converjan.

La actualización se desarrolla considerando el ángulo entre la neurona seleccionada y las del entorno, y el número de iteraciones desarrolladas hasta el momento. El entorno se define tomando un ángulo inicial de valor π en radianes, lo cual abarca toda la esfera como primera actualización, y luego disminuye linealmente con el número de iteraciones hasta un ángulo de 0.01 radianes, lo cual delimita una única neurona cuyos pesos sinápticos serán actualizados. Dentro de este entorno de radio r, donde en esta topografía el coeficiente r no es el radio de la esfera sino que expresa el ángulo que delimita el entorno, se actualizan los pesos sinápticos de las neuronas que se encuentra a una distancia angular ϕ<r de la neurona seleccionada. Se define como ritmo de entrenamiento el factor $1/(1+\phi/r)^3$, de manera tal que el ritmo de aprendizaje vale 1 en el centro del sector, es decir para la neurona seleccionada, y 1/8 en la periferia, siendo nulo fuera del radio de actualización. Por otra parte el ritmo de entrenamiento depende del número de iteraciones. Se adopta como 0.2 el ritmo de entrenamiento inicial y 0.01 el ritmo de aprendizaje final con una pendiente lineal dada por el número de iteraciones.

El peso directo desde la entrada j a la neurona i se actualiza de acuerdo con:

$$Wdijh = Wdijh\text{-}1 + \alpha(h) * R(\varphi,h) * X2j * (Y1i - Y3i).$$

En esta ecuación iterativa Wdijh es el peso sináptico directo de la neurona i correspondiente a la entrada j en la presentación del ejemplo h o paso iterativo h. Tiene el mismo significado el coeficiente Wdijh-1 pero correspondiendo al paso iterativo anterior. $R(\varphi,h)$ es el ritmo de aprendizaje dependiente de la distancia angular entre la neurona que presenta la mejor percepción de la entrada y la que está siendo actualizada en la red, y dependiente también del número de iteraciones o ejemplos presentados hasta la etapa h de entrenamiento. $\alpha(h)$ es el ritmo de aprendizaje dependiente del número de iteraciones, X2j es el valor de la percepción X2 correspondiente a la entrada j, Y1i e Y3i son las imágenes internas de la neurona i provenientes de la entrada X0 y de la percepción X2.

La ecuación que sigue es equivalente a la anterior, pero para los pesos inversos.

$$Wiijh = Wiijh\text{-}1 + \alpha(h) * R(\varphi,h)* Y1i * (X0j - X2j)$$

En ella Wiijh es el peso inverso desde la neurona i a la entrada j. Puede verse que en esta segunda ecuación se ajusta en forma iterativa el la percepción al estímulo siendo la sensación directa un factor de escala.

La determinación del conjunto de patrones de entrada mejor representados por cada neurona se realiza por medio de una medida de distancia euclidiana entre el patrón de entrada a la capa X0 y el patrón reconstruido por cada neurona de la capa Y1i*Wi, seleccionando como neurona más representativa aquella cuyo patrón reconstruido es más próximo al patrón de origen, es decir, aquella neurona que ofrece la mejor percepción del estímulo de entrada.

A las series de pesos sinápticos obtenidas se aplica un procedimiento de análisis espectral singular para reconstruir la serie por medio de la primera componente principal, destacándose en ella la forma predominante de la serie y la varianza explicada por la primera componente. El análisis espectral singular (SSA) consiste en la configuración de una matriz de autocovarianza de la cual se extrae los autovalores y autovectores, reconstruyendo a través de ellos las componentes principales en términos de la variabilidad explicada. Por ser la matriz de autocovarianza, estas componentes contienen predominantemente componentes periódicas.

En el presente trabajo se ha desarrollado el método sobre 72 desplazamientos en la serie temporal, por lo que la matriz es de 72x72, es decir que se ha usado un máximo desplazamiento de seis años en la serie de anomalías. Se ha seleccionado y superpuesto a las series temporales sólo la primera componente principal. En esta componente suele observarse los procesos de más largo período, a menos que el comportamiento sea muy estable y se destaquen como primer orden de variabilidad componentes periódicas. En esta etapa

del estudio se intenta rescatar los procesos más lentos en el desarrollo de la serie de anomalías.

Datos y aplicación específica al análisis climático

En el presente trabajo se procurará especializar un conjunto de neuronas en el reconocimiento de patrones de anomalías en la precipitación sobre Cuyo y la distribución geográfica de los campos de anomalías. La información de base consiste en 53 años de reanálisis (636 valores mensuales entre 1948 y 2000 obtenidos de la variable "prate" de la dirección http://cola8.iges.org:9090/dods/rean_2d.info). Se utiliza un conjunto de 18142 patrones de entradas en forma de series temporales de anomalías mensuales en la lluvia por extracción de la onda anual media, ubicados en puntos de grilla sobre el Globo terrestre (94 puntos en latitud cada 1.904 grados y 193 puntos en longitud cada 1.875 grados) que convergen en 256 neuronas en la red esférica de Kohonen. Las posiciones de estas neuronas han sido definidas por vectores Vmijk, donde m identifica la neurona en la posición angular azimutal y cenital ij, y k recorre los 636 pesos sinápticos que vinculan cada neurona con el patrón de entrada.

Esta variable representa la velocidad de precipitación en metros cúbicos por segundo y se ajusta la escala para representar la lluvia acumulada mensualmente en cada punto de grilla. Es sabido que la precipitación es una de las variables menos confiablemente calculada y pronosticada, pero de todas maneras el reanálisis de precipitación contiene considerable información acerca del patrón de lluvias cubriendo regularmente el Globo. Antes de presentar los patrones de lluvia a la red fueron analizados para reconocer el patrón climático en el comportamiento de las series.

Como es típicamente requerido entre 100 y 500 iteraciones por cada neurona oculta de la red de Kohonen, hemos implementado 128000 iteraciones para entrenar la red. El entrenamiento es realizado en forma aleatoria seleccionando series de tiempo de los puntos de grilla de reanálisis sobre toda la Tierra. De esta manera se espera que cada serie correspondiente a cada punto de grilla sea presentada a la red entre cinco y siete veces. La neurona que responde con la percepción más parecida al estímulo y sus vecinas son especializadas en reconocer un patrón que presenta características similares. Para hacer esto se define un radio de vecindad que para iniciar el proceso cubre toda la red, pero que progresivamente se cierra hasta restringirse a una sola neurona al finalizar el entrenamiento. El mismo criterio de similitud se usa para identificar las series de precipitación asociadas con cada uno de los patrones típicos. En tal manera se obtiene patrones típicos como síntesis globales de información y son identificadas las señales que presentan patrones característicos.

Resultados

En la presentación de resultados de la clasificación y caracterización de patrones de anomalías en la precipitación nos concentraremos en la identificación de los patrones sobre Cuyo y su correspondencia con patrones globales de anomalías.

El mapa de la red neuronal correspondiente a la primera capa se presenta en la figura 1. Se identifican las ubicaciones de las neuronas que representan en sus pesos sinápticos el comportamiento de la lluvia sobre el territorio de Cuyo. Debe tenerse presente que este gráfico es una proyección cilíndrica del mapa neuronal de la red. Por lo tanto las neuronas 183 y 37 se encuentran más próximas que lo que se observa a primera vista de la 9 y de la 107. También es claro que las neuronas 37 y 183 son vecinas y representan un comportamiento muy similar. En cambio las neuronas 9 y 107 se encuentras distanciadas del grupo 37-183 y a su vez separadas entre sí. En la figura 2 se presenta un mapa de la región de Cuyo donde se identifica el límite con Chile y las regiones representadas por los pesos sinápticos de las neuronas seleccionadas. Puede verse que la neurona 183 representa las anomalías de precipitación sobre el nordeste de San Juan mientras que la neurona 37 representa anomalías de lluvia sobre el oeste de San Juan y oeste de Mendoza. En cambio la neurona 9 representa anomalías sobre el este de Mendoza y San Luis, mientras que el extremo sur de Mendoza y Neuquén, así como áreas de Chile central están representados por la neurona 107.

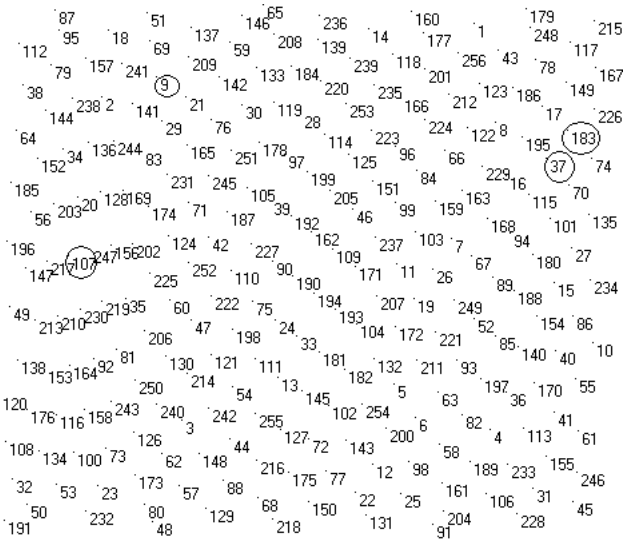


Figura 1. Mapa de la red neuronal. Se destacan las neuronas asociadas con las anomalías de precipitación en Cuyo.

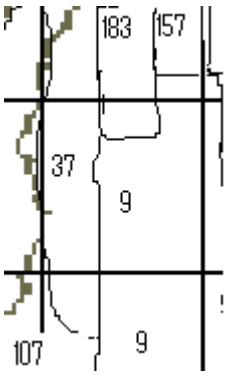


Figura 2. Región de Cuyo. Se identifica el límite entre Argentina y Chile y los paralelos 30ºS y 35ºS, y los meridianos 65ºO y 70ºO. Las líneas delgadas delimitan las áreas de representatividad de las neuronas 9 (sudoeste), 183 (nordeste), 37 (oeste hasta el límite con Chile) y 107 (sudoeste de Cuyo y Chile)

Neurona 183

La neurona 183 representa anomalías de lluvia en el sudoeste de Catamarca, centro de La Rioja y nordeste de San Juan. El régimen de lluvias es muy estable. Una amplificación de escala muestra máximos bien definidos en 1958 y 1959 En 1988 se observa un máximo enmarcado en un período de anomalías secas. Un predominio de mínimos se registra en la década de 1960 hasta comienzos de la de 1970, pero son más frecuentes los máximos desde fines de la década de 1970 y en la de 1980, aunque se observa una tendencia decreciente en la lluvia hasta finalizar el período de registro. La primera componente contiene el 6.7% de la variabilidad.

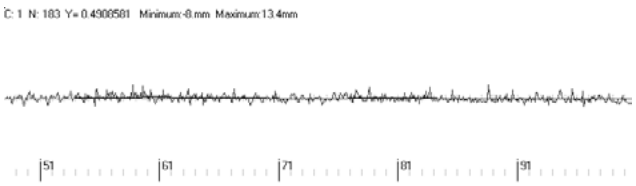


Figura 3-1: Serie temporal de pesos sinápticos que representan anomalías de precipitación caracterizadas por la neurona 183 de la capa 1 de la red. "Y" expresa el término llamado "sensación" y se indican el máximo y el mínimo de la serie. En negro se destaca la reconstrucción por la primera componentes por SSA.

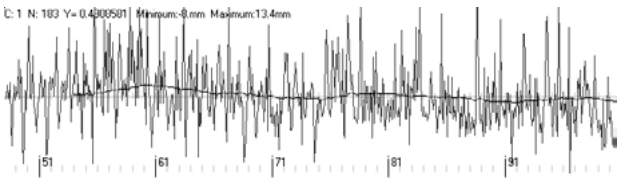


Figura 3-1bis: Serie temporal de pesos sinápticos que representa las anomalías de precipitación amplificadas por un factor de siete para analizar el comportamiento del patrón caracterizado por la neurona 183. En negro se destaca la reconstrucción por la primera componentes por SSA.

Neurona 37

La neurona 37 es representativa de la lluvia en el norte de Chile y su representatividad se extiende a áreas cordilleranas de La Rioja, oeste de San Juan y de Mendoza. Es notable la estabilidad en las lluvias en la región, si bien se observa un máximo de anomalías al principio del período de registro. Una amplificación del régimen de anomalías permite visualizar un período de máximos de lluvias durante la década de 1950, un sensible descenso en 1959 seguido de un nuevo aumento de lluvias hasta 1968, cuando un período de mínimos es interrumpido por un máximo en 1972/3. A partir de 1973 predominan los mínimos de anomalías con máximos aislados en 1983, 1987 y 1997. La primera componente representa el 33.3% de la variabilidad.

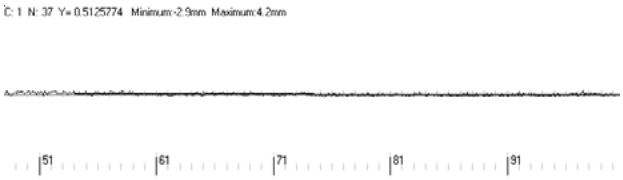


Figura 3-2: Serie temporal de pesos sinápticos que representan anomalías de precipitación caracterizadas por la neurona 37 de la capa 1 de la red. "Y" expresa el término llamado "sensación" y se indican el máximo y el mínimo de la serie. En negro se destaca la reconstrucción por la primera componentes por SSA.

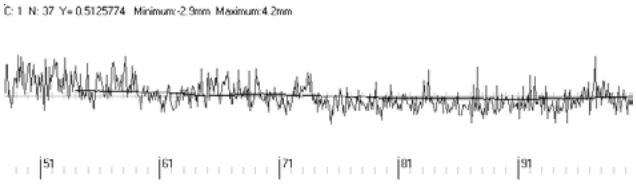


Figura 3-2bis: Serie temporal de pesos sinápticos que representa las anomalías de precipitación amplificadas por un factor de diez para analizar el comportamiento del patrón caracterizado por la neurona 37. En negro se destaca la reconstrucción por la primera componentes por SSA.

Neurona 9

La tercera neurona cuya representatividad cubre una parte importante del territorio argentino es la número 9, abarcando el norte de Río Negro, La Pampa, San Luis, este de Mendoza, sudeste de La Rioja, oeste y extremo sur de Córdoba, y el oeste y sur de Buenos Aires. Un período de anomalías positivas predomina hasta 1963 con un máximo de lluvias en 1958. Desde fines de 1973 y comienzos de 1974 hay un predominio de anomalías negativas acompañado de una tendencia decreciente en las lluvias con un extremo de anomalía negativa entre fines de 1988 y comienzos de 1989. Desde entonces parece registrarse una débil recuperación en las lluvias con un máximo en 1997/8. La primera componente contiene el 28.6% de la varianza de la serie.

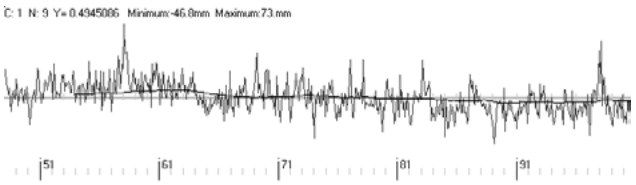


Figura 3-3: Serie temporal de pesos sinápticos que representan anomalías de precipitación caracterizadas por la neurona 9 de la capa 1 de la red. "Y" expresa el término llamado "sensación" y se indican el máximo y el mínimo de la serie. En negro se destaca la reconstrucción por la tercera componente por SSA.

Neurona 107

La neurona 107 tiene asociada un patrón de pesos sinápticos que representa las anomalías de lluvia en el norte de Santa Cruz, sur de Chubut, Neuquén, extremo sur de Mendoza, sur y centro de la Provincia de Buenos Aires y áreas costeras hasta la Bahía de San Borombón. Es notable la similitud con el régimen de lluvias caracterizado por la neurona 9. Un período de anomalías positivas en la precipitación durante la década de 1950 es seguido por un rápido descenso a comienzos de la década de 1960, pero desde 1973 las anomalías son predominantemente negativas alcanzando un mínimo en 1979. Unos pocos eventos de anomalías positivas se registraron en 1980, 1986, 1987, 1992 y 1997, observándose persistentes anomalías negativas durante la década de 1980. La primera componente contiene el 29.8% de la varianza.

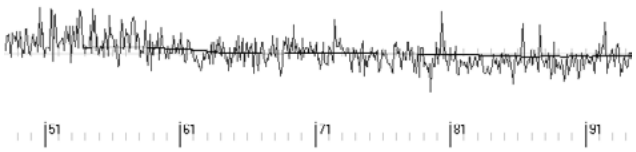


Figura 3-4: Serie temporal de pesos sinápticos que representan anomalías de precipitación caracterizadas por la neurona 107 de la capa 1 de la red. "Y" expresa el término llamado "sensación" y se indican el máximo y el mínimo de la serie. En negro se destaca la reconstrucción por la tercera componente por SSA.

En la figura 4 se muestra la segunda capa de la red. Puede verse que las neuronas 37 y 183 se agrupan en una única serie de anomalías en la neurona 37 de la capa 2, mientras que las neuronas 107 y 9 se asocian a las neuronas 13 y 33 respectivamente, expresando así su diferente comportamiento a un nivel más profundo. En la figura 5 se presenta mapas globales en los que se observa regiones con similar comportamiento de anomalías. La neurona 37 engloba las regiones desérticas y semidesérticas del Globo. La neurona 13, en cambio, asocia el comportamiento de las anomalías sobre el Pacífico Ecuatorial Oriental con el centro-sur de Argentina, que incluye el sudeste de Cuyo, y una amplia región del Atlántico al este de EEUU. La neurona 33 muestra que las anomalías de precipitación sobre la Patagonia se vinculan con el comportamiento de las lluvias sobre el Pacífico Sur Oriental.

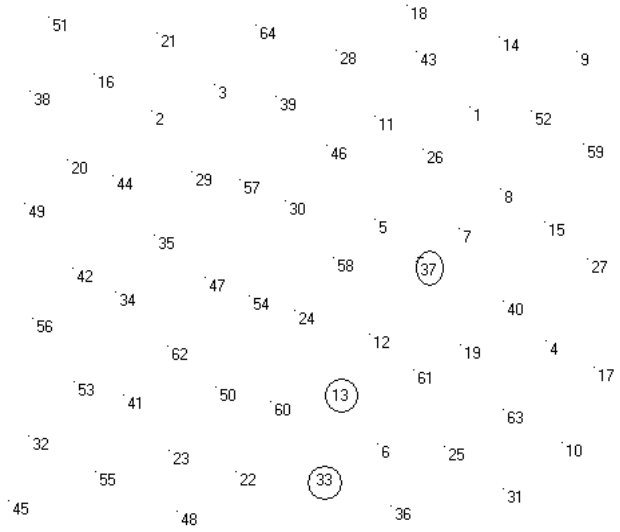


Figura 4. Mapa de la red neuronal de la segunda capa. Se destacan las neuronas asociadas con las anomalías de precipitación en Cuyo.

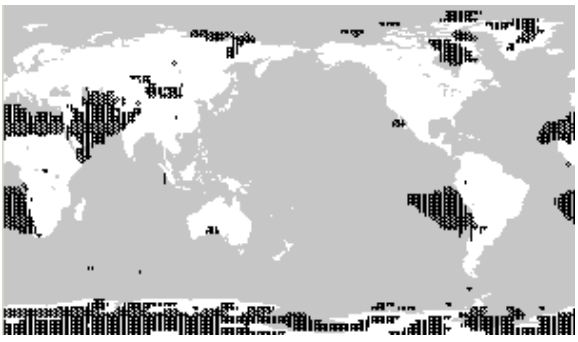


Figura 5-1

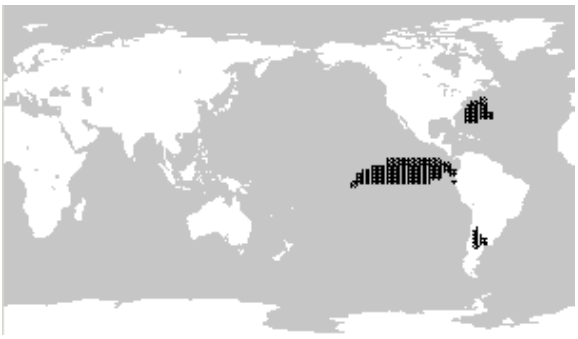


Figura 5-2

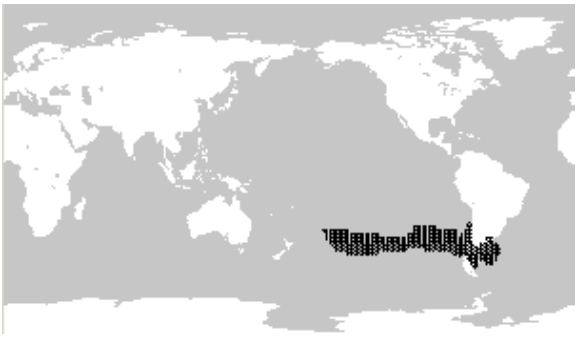


Figura 5-3

Figura 5. Regiones representadas por las neuronas 37 (arriba), 33 (abajo a la izquierda) y 13 (abajo a la derecha) de la segunda capa de la red.

La tercera capa agrupa las neuronas 13 y 33 en una única serie representativa en la neurona 12, mientras que la neurona 6 representa regiones desérticas. Es notable que el patrón de anomalía en la precipitación es similar en áreas del Pacífico ecuatorial oriental y en latitudes medias del Pacífico sur oriental, alcanzando el centro y sur de Chile, la Patagonia argentina, el sur de Cuyo y de la Región Pampeana, las costas argentinas del Atlántico, pero también se proyecta sobre el Atlántico y el Índico al sur de África.

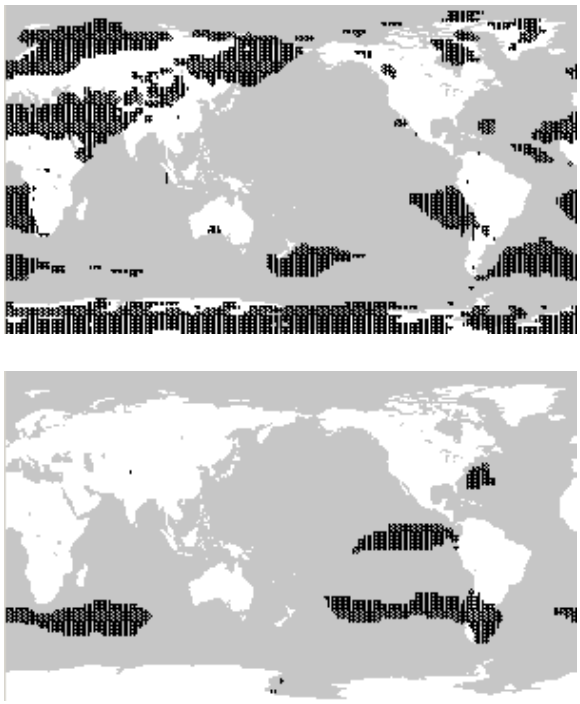


Figura 6. Regiones representadas por las neuronas 6 (arriba) y 12 (abajo) de la tercera capa de la red.

Las series temporales de las neuronas 6 y 12 se muestran en la figura 7. En ambos casos puede observarse un máximo de anomalías a comienzos del registro, un mínimo durante las décadas de 1970 y 1980, con mínimo absoluto en 1988, y una leve recuperación en la de 1990, diferenciándose por la amplitud de la anomalía.

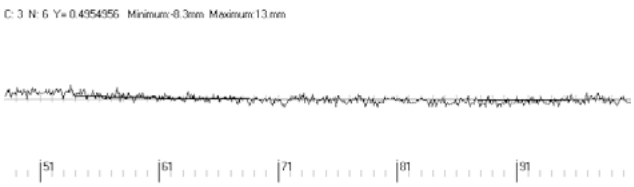


Figura 7-1

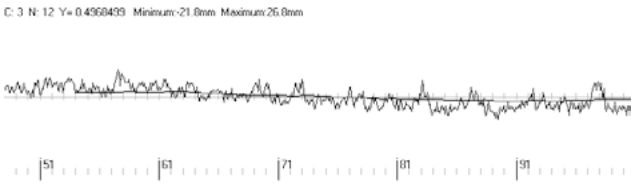


Figura 7-2

Figura 7: Serie temporal de pesos sinápticos que representan anomalías de precipitación caracterizadas por la neurona 6 de la capa 3 de la red (7-1) y la neurona 12 (7-2). "Y" expresa el término llamado "sensación" y se indican el máximo y el mínimo de la serie. En negro se destaca la reconstrucción por la tercera componente por SSA.

La cuarta capa aún conserva la diferencia entre los dos patrones de anomalías en el norte y sur de Cuyo, asociando el norte de Cuyo a la neurona 2 de la cuarta capa a regiones desérticas, mientras que el sur de Cuyo se vincula con la neurona 3 de la cuarta capa, representando un patrón de anomalías presente en el Pacífico central y oriental ecuatorial, y el Pacífico oriental sur de latitudes medias, pero también el Caribe y el Atlántico ecuatorial extendido hacia las costas de EEUU, Europa central, África al sur del Sahara, la India, Indonesia y algunas regiones de China y Asia central. Puede observarse la similitud en la estructura del patrón de anomalías en ambas neuronas, diferenciados fundamentalmente por la amplitud de la variabilidad.

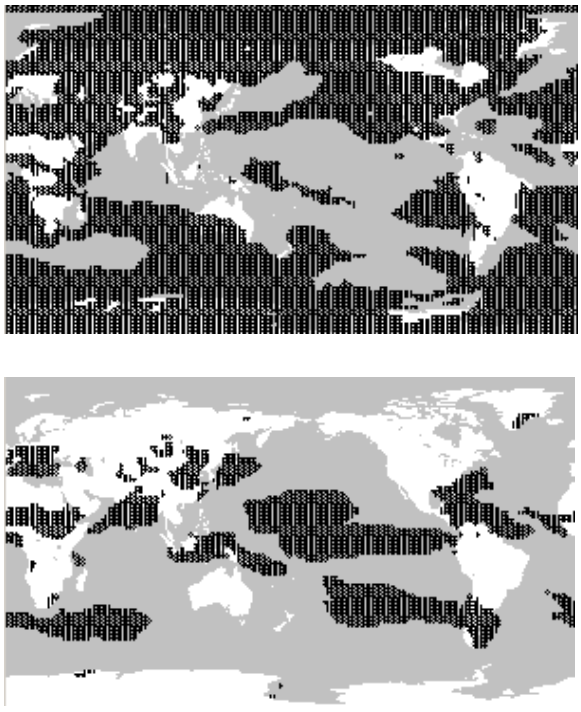


Figura 8. Regiones representadas por las neuronas 2 (arriba) y 4 (abajo) de la cuarta capa de la red.

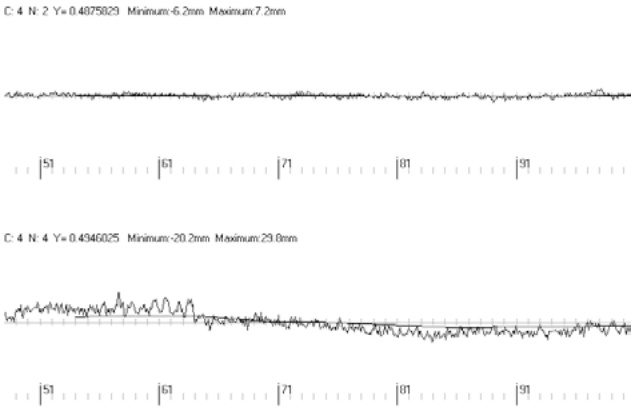


Figura 9: Serie temporal de pesos sinápticos que representan anomalías de precipitación caracterizadas por la neurona 2 de la capa 4 de la red (arriba) y la neurona 4 (abajo). "Y" expresa el término llamado "sensación" y se indican el máximo y el mínimo de la serie. En negro se destaca la reconstrucción por la tercera componente por SSA.

Conclusiones

Podemos observar que este método es una útil herramienta para caracterizar y clasificar los patrones de señales simulando los procesos de percepción. El comportamiento de la precipitación es similar en toda la región, con un máximo en la década de 1950 y un mínimo en la de 1980, recuperándose levemente en la década de 1990. La diferencia entre el norte y el sur de la región se establece en términos de la amplitud de las anomalías, y ésta se relaciona con la media de precipitación, respondiendo San Juan y el oeste de Mendoza a un régimen de zonas áridas y desérticas, y San Luis y el este de Mendoza a una media de lluvias más importante. Es notable la extensión del campo de anomalías que afectan Cuyo al Pacífico sur oriental y al Pacífico ecuatorial oriental, así como a otras regiones del Globo. Sólo a modo de hipótesis preliminar se sugiere una posible vinculación con variabilidad en el comportamiento de la celda de circulación de Hadley.

Bibliografía

- Anderson, J. Redes Neurales. México, Alfaomega, 2007
- Björn A. - Amos W. Climate Zonation in Puerto Rico Based on Principal Components Analysis and an Artificial Neural Network. Journal of Climate, Volume 12, Issue 4 (April 1999)
- Cogliati, M. – Britos, P. – García-Martínez, R.; Análisis de variables agrometeorológicas en noches de heladas utilizando mapas auto organizados y algoritmos de inducción. XI Reunión Argentina de Agrometeorología. Septiembre, 6 a 8. 2006. Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales. Universidad Nacional de La Plata.
- Fayos, J. – Fayos, C.; Wind Data Mining by Kohonen Neural Networks. PLoS ONE. 2007; 2(2): e210. Published online 2007 February 14. doi: 10.1371/journal.pone.0000210. PMCID: PMC1790699.
- Hagan, M. - Demuth, H. - Beale,M. Neural network Design. EEUU, PWS Publishing Company, 1995
- Hall M – Minns A – Ashrafuzzaman A. The application of data mining techniques for the regionalisation of hydrological variables. Hydrology and Earth System Sciences, 6(4), 685–694 (2002)
- Hinton, G. E. – McClelland, J.L. Learning Representation by Recirculation. American Institute of Physics. Proc. IEEE Conf on Neural Information Processing Systems, Nov. 1988. pp. 358-366.
- Martín del Brío, B-Sanz Molina, A. Redes Neuronales y Sistemas Difusos. México, Alfaomega, 2001.
- Kandel, E.R. – Schwartz, J.H. – Jessell, Th. M. Neurociencia y Conducta. Madrid, Prentice May, 1997.
- Kilpatrick, D.; Williams, R.; Unsupervised classification of Antarctic satellite imagery using Kohonen self-organising feature map. Proceedings., IEEE International Conference on Neural Networks, 1995. Volume 1, Issue , Nov/Dec 1995 Page(s):32 - 36 vol.1
- Kohonen, T. Self-Organizing Maps. (3rd ed) Springer Series, 2001.
- Michaelides,S. - Pattichis,C.; Classification of rainfall distributions with the use of Artificial Neural Networks. Proceedings: 4th Panhellenic Conference on Meteorology, climatology and Atmospheric Physics. Athens, Greece, September 1998. pp. 251-256.
- Steynor, A. – Hewitson, B.; The use of Kohonen self-organising maps in assessing the impact of global climate change on the runoff of the Breede River in South Africa. Geophysical Research Abstracts, Vol. 8, 00429, 2006.
- Turiasa, I. – González, M. – Galindoa, P. A competitive neural network approach for meteorological situation clustering. Atmospheric Environment, Volume 40, Issue 3, January 2006, Pages 532-541.