

Actas E-ICES 6





Actas E-ICES 6

Trabajos completos presentados en el
encuentro E-ICES 6 celebrado entre los días
4 y 8 de octubre de 2010 en la ciudad de Malargüe



Comisión Nacional de Energía Atómica - CNEA
Actas E-ICES 6 CNEA 2011. - 1a ed. - Buenos Aires:
Comisión Nacional de Energía Atómica - CNEA; Oscar Hugo Papú Director, 2011.
CD-ROM. - ISBN 978-987-1323-21-0
1. Ciencias de la Tierra. I. Título. CDD 570

Fecha de catalogación: 05/04/2011

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)
- Dr. Jorge Horacio Barón (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
- Srta. Emilia Molina
- Sr. Alejandro Ramirez

Índice

- 9 **Prólogo**
José Ruzzante
- 10 **La reestructuración del Desarrollo del Centro-Norte de la Provincia de San Juan y el Riesgo Sísmico Local.**
Benavidez, H. B., Monguilner, C., Fili, A.
- 19 **Comparison of Classification Methods on Geomorphometric Data of Peteroa Volcano Area.**
Camiz, S., Denimal, J.J. and Poscolieri, M.
- 30 **Evolutionary analysis applied to tree-ring chronologies series.**
Camiz, S., Roig, F.A.
- 38 **Exploratory Analysis of Pacific Data to Study "El Niño".**
Camiz, S.; Denimal, J.J. y Sosa, W.
- 48 **Multidimensional Analysis of Images of Ajax Myth in the Italic Production.**
Camiz, S., Gomes, G.C.
- 55 **Estructura espacial de la formación de bancos intermareales de la ostra invasora *crassostrea gigas* en la costa norte de patagonia y su relación con un índice de exposición relativa a la energía de las olas.**
Carrasco, M. F., Weiler, N. E., Barón, P. J.
- 62 **Avances en el proyecto de medición de gases en el volcán Peteroa.**
Castillo, A. P., Nuñez, N., Schmidt, D., Estevez, G., Bonaparte, J., Rodríguez D. F. y Rinaldi, R.
- 66 **Modelo de Ondulaciones Geoidales en base a Nodales para el centro-norte de Santiago del Estero.**
Ciappino, P. D.; Goldar, José E.; Paste, José F.; Costa, W. D. y Moreno, José E.

- 70** **Entre la vida del barrio y la potencia del zanjón: condiciones, fatalismos y posibilidades de la remediación ambiental.**
Curutchet, G., Grinberg, S., Gutierrez, R.
- 78** **Ecosistema urbano - verde urbano Mendoza.**
De Pascual, D., Cutropia A. M.
- 89** **Identificación, Zonificación y Cuantificación de Eventos de Inundación de Detritos en el Área Metropolitana de Mendoza.**
Delamarre J. C., Cisneros, H. A., Zavaroni, R. G.
- 99** **30 años de fluctuaciones glaciarias en el área del Monte San Lorenzo (47º S), Andes Patagónicos, Argentina.**
Falaschi D., Delgado, S. y Masiokas, M.
- 108** **Formas de Onda en Señales de Emisión Acústica con Modelo Sísmico.**
Filipussi, D. A., Piotrkowski, R., Ruzzante, J.E.
- 117** **Las investigaciones de la red museal Pangea, La Red Pangea en el "Valle de los Titanos": desde la modelación 3D al Atlas de los Dinosaurios online.**
Finotti, F., Landini, W., Zandonai, F., Zen, E.
- 124** **Aceleraciones Máximas Esperadas en torno a la Falla "La Cal", Mendoza, Argentina.**
Frau, C. D., Tornello M. E., Maldonado, N. G. y Gallucci, A. R.
- 132** **Trazas de la Pequeña Edad Glacial en el extremo sur de Sudamérica (1618-1810).**
Gascón, M. y Caviedes, C.
- 139** **Determination of persistent organic pollutant, polybrominated diphenyl ethers, in sediment samples from Potrerillos reservoir, Mendoza, Argentina.**
Lana, N. B., Berton, P., Atencio, A. G., León, J., Ciocco, N. y Altamirano, J.
- 149** **Análisis de la distribución de casos de zoonosis en el departamento de Malargüe, Mendoza, Argentina.**
Lecitra, R. y Tort, J.A.

- 154 **Sistema Para Determinación De Radón En Tiempo Real.**
Miller, M., Villanueva, J.
- 159 **Monitoreo de descargas atmosféricas.**
Miranda Bonomi, F. A., Díaz, R. R., Arias, N. E., Ise, J. E., Cangemi, J. I., Cabrera, M. A.
- 162 **Sustentabilidad de Construcciones Portuarias Realizadas con Hormigón Armado.**
Montero, C. y Ortega, N.F.
- 173 **Desarrollo de criterios ecológicos para la conservación de mamíferos terrestres en península Valdés.**
Nabte, M. J.
- 183 **Sobre la necesidad de una ley de presupuestos mínimos de manejo de fuego en los ecosistemas argentinos.**
Noseda, P.
- 193 **Automated system for magnetic monitoring of volcano activity.**
Padovese, L., Muranaka, C. S., Ferreira, R. R., Bizuti, A.M., Cavallaro, F. A.
- 198 **Paseo natural puerta del bordo, bases para una propuesta ecoturística en la villa serrana de alpa corral.**
Paton, L.M.
- 203 **Relación espacial y temporal entre el crecimiento radial de Pinus pinea L. y factores climáticos.**
Piraino, S., Camiz, S.
- 212 **Monitoreo de variables ambientales utilizando estándar ZigBee.**
Rivamar, A. G., Cerutti, P. F. y Castro, G. J.
- 220 **Influencia de la Variabilidad Climática en la Estacionalidad del Consumo de Gas Natural del Sector Eléctrico.**
Rössler, C.E., Gómez, D. R. y Rey, F. C.

- 228** **Instalación de un Observatorio Geofísico en Uruguay y resultados del primer monitoreo geomagnético.**
Sánchez Bettucci, L.; Tancredi, G.
- 238** **Biorremediación: puesta a punto del sistema helianthus annuus- glomus intraradices en la captación de metales contaminantes mediante microscopía electrónica de barrido (sem eds) y espectrofotometría de absorción atómica.**
Scotti, A., Godeas, A., Silvani, V., Yunes, N., López, S., Visciglia, M., Fóscolo, M.
- 248** **Biochemical indicators of nutritional status and its relation with feed intake in lactating cows fed on natural pastures of the plain of Mendoza**
Scotti, A., Stasi, C.R., Camiz, S., Visciglia, S., Guevara, J.C., Visciglia, M.
- 259** **Simbología del Paisaje. Grabados Rupestres de la Mala Dormida. Cerro El Morro. Malargüe. Mendoza.**
Tucker, H., Risi, A.
- 262** **Una clasificación global de espectros de precipitación por medio de un mapa auto organizado de redes neuronales.**
Vargas, W. M., Huggenberger, D. A.
- 271** **Aplicación del modelo HYSPLIT a posibles escenarios de riesgo volcánico en el departamento de Malargüe.**
Zitto, M. E., Ramires, A., Piotrkowski, R. y Canziani, P.
- 278** **Trabajo de Jóvenes Investigadores**
El presente es la clave de los hechos del pasado: una patología actual evidenciada hace 228 millones de año.
Trotteyn, M. J. y Apaldetti, C.

Índice de autores

| | | | | | | | |
|--------------------------------|------------------|--------------------|---------------------|---------------------|----------------------|------------|-----------------|
| 139, 147 | Altamirano, J. | 159 | Díaz, R. R. | 193 | Muranaka, C. S. | 154 | Villanueva, J. |
| 278 | Apaldetti, C. | 62 | Estévez, G. | 173, 181, 182 | Nabte, M. J. | 238, 248 | Visciglia, M. |
| 159 | Arias, N. E. | 99 | Falaschi, D. | 183 | Nosedá, P. | 55, 56, 61 | Weiler, N. E. |
| 139 | Atencio, A. G. | 193 | Ferreira, R. R. | 62 | Nuñez, N. | 238 | Yunes, N. |
| 55, 57, 61 | Barón, P. J. | 10 | Fili, A. | 162, 172 | Ortega, N.F. | 117, 123 | Zandonai, F. |
| 10, 236 | Benavidez, H. B. | 108, 116 | Filipussi, D. A. | 193 | Padovese, L. | 89 | Zavaroni, R. G. |
| 139 | Berton, P. | 117, 121, 123 | Finotti, F. | 66, 69 | Paste, J. F. | 117, 123 | Zen, E. |
| 193 | Bizuti, A. M. | 238 | Fóscolo, M. | 198, 202 | Paton, L. M. | 271, 277 | Zitto, M. E. |
| 62 | Bonaparte, J. | 124, 131 | Frau, C. D. | 108, 116, 271, 277 | Piotrkowski, R. | | |
| 86, 88, 102, 159 | Cabrera, M. A. | 124 | Gallucci, A. R. | 203 | Piraino, S. | | |
| 19, 28, 29, 30, 37, 38, | Camiz, S. | 132, 138 | Gascón, M. | 19, 28, 29 | Poscolieri, M. | | |
| 47, 48, 49, 50, 54, | | 238 | Godeas, A. | 271 | Ramires, A. | | |
| 203, 210, 248, 249 | | 66, 68 | Goldar, José E. | 220 | Rey, F. C. | | |
| 159 | Cangemi, J. I. | 38, 48, 49, 50, 54 | Gomes, G.C. | 62 | Rinaldi, R. | | |
| 271, 277, 272 | Canziani, P. | 220 | Gómez, D. R. | 259 | Risi, A. | | |
| 55, 61 | Carrasco, M. F. | 70, 76 | Grinberg, S. | 212 | Rivamar, A. G. | | |
| 62, 211 | Castillo, A. P. | 70 | Gutierrez, R. | 62 | Rodríguez, D. F. | | |
| 212 | Castro, G. J. | 262, 263, 270 | Huggenberger, D. A. | 30, 37, 48, 98, 210 | Roig, F.A. | | |
| 193 | Cavallaro, F. A. | 159 | Ise, J. E. | 220, 227 | Rössler, C. E. | | |
| 132, 136, 137, 138 | Caviedes, C. | 139 | Lana, N. B. | 9, 108, 116 | Ruzzante, J. E. | | |
| 212 | Cerutti, P. F. | 117, 123 | Landini, W. | 228 | Sánchez Bettucci, L. | | |
| 66, 69 | Ciappino, P. D. | 149 | Lecitra, R. | 62 | Schmidt, D. | | |
| 139 | Ciocco, N. | 139 | León, J. | 238, 248 | Scotti, A. | | |
| 89, 98 | Cisneros, H. A. | 238 | López, S. | 238 | Silvani, V. | | |
| 66 | Costa, W. D. | 124 | Maldonado, N. G. | 38 | Sosa, W. | | |
| 70, 76, 77 | Curutchet, G. | 99 | Masiokas, M. | 228 | Tancredi, G. | | |
| 78 | Cutropia, A. M. | 154, 210 | Miller, M. | 124 | Tornello, M. E. | | |
| 78 | De Pascual, D. | 159 | Miranda Bonomi, F. | 149 | Tort, J.A. | | |
| 89, 95, 98 | Delamarre, J. C. | 10 | Monguilner, C. | 278 | Trotteyn, M. J. | | |
| 99 | Delgado, S. | 162 | Montero, C. | 259 | Tucker, H. | | |
| 19, 29, 30, 31, 37, 38, 42, 47 | Denimal, J.J. | 66 | Moreno, José E. | 262, 263, 270 | Vargas, W. M. | | |

Prólogo

Una vez más tengo el agrado de prologar este volumen, que ofrece a la comunidad algunos de los trabajos presentados en el Encuentro internacional que año a año realiza el ICES en Malargüe.

El Sexto Encuentro (E-ICES 6), realizado entre los días 4 y el 8 de octubre de 2010, fue sumamente particular. En los primeros días del mes de septiembre, el volcán Peteroa comenzó a manifestar una creciente actividad eruptiva, que fue seguida por el Grupo de Vigilancia del Volcán Peteroa creado por el ICES. Algunos de sus integrantes realizaron varios vuelos sobre la zona con el fin de informar el estado del mismo. Anteriormente, en el mes de marzo, el mencionado Grupo había manifestado por medio de una nota escrita, su preocupación por las crecientes evidencias de una posible erupción, la cual finalmente se dio en septiembre. Por lo mencionado, era de esperar en los trabajos presentados en este Encuentro un sesgo importante sobre el Peteroa.

Los Encuentros del ICES no pretenden ser meramente una reunión de Geología, Antropología, Meteorología u otras disciplinas, por el contrario, son reuniones de especialistas en esas áreas dispuestos a escuchar y a aportar desde su especialidad a una problemática concreta. En los primeros Encuentros del ICES me fue sugerido separar los temas de las exposiciones por disciplinas, porque solamente les interesaba el tema de su especialidad. Justamente aquí está el esfuerzo y el desafío, "aportar desde lo suyo" con una mirada interdisciplinaria; sabemos que lograr esto no es fácil. Cada disciplina mencionada anteriormente, ya tiene su Congreso o Encuentro donde se reúnen exclusivamente los pares, no es esa la intención de los Encuentros del ICES.

En este Encuentro en particular, quiero dar el más cálido recibimiento a los colegas uruguayos que se adhirieron a este desafío, creando el ICES Nodo Uruguay. Ahora debemos continuar trabajando por encontrar soluciones a los problemas comunes.

En esta ocasión, por primera vez, durante el E-ICES 6, se entregaron los premios a los ganadores de las "Primeras Olimpiadas Ambientales Rurales" organizadas por el ICES en las escuelas secundarias rurales de Malargüe, con una masiva repercusión entre los estudiantes.

También debo mencionar el Concurso de Jóvenes Investigadores, que este año tuvo una participación record de concursantes, con trabajos de excelente calidad y mejor exposición.

Por último debo agradecer a: la Fundación Williams; la Embajada de Italia en Argentina en la persona de Gabriele Paparo; la empresa Vale; el ICES Nodo Italiano; a la Agencia Nacional de Promoción Científica y Tecnológica, ANPCyT, la Comisión Nacional de Energía Atómica y la Universidad Nacional de Cuyo. Sin el importante y desinteresado apoyo de todas ellas, no hubiera sido posible concretar este Encuentro.

José Ruzzante
Buenos Aires, junio del 2011.

La reestructuración del Desarrollo del Centro-Norte de la Provincia de San Juan y el Riesgo Sísmico Local

RESUMEN

La "Política Nacional de Desarrollo y Ordenamiento Territorial - Plan Estratégico Argentina 2016-", define cuatro pilares para equilibrar el desarrollo en la provincia de San Juan. Ellos son:

- a) El Corredor Bioceánico
- b) La minería
- c) La agroindustria
- d) El turismo

Si bien estas propuestas de reestructuración del desarrollo provincial se fundamentan en antecedentes regionales, el eje gira alrededor del actual proceso de globalización, por lo que implican cambios socio-territoriales sustanciales en las actividades, en el uso del suelo y en los asentamientos humanos, especialmente en los departamentos del centro y norte de la provincia.

Actualmente en la Facultad de Arquitectura, Urbanismo y Diseño de la Universidad Nacional de San Juan, se desarrolla un proyecto de investigación cuyo objetivo es: "Evaluar la sustentabilidad de los escenarios futuros construidos a partir de las actividades humanas existentes en el centro-norte de la provincia de San Juan considerando el riesgo sísmico local".

Desde lo teórico, se conceptualiza al riesgo sísmico como un componente de la relación desarrollo-ambiente-sociedad, afectando a todas las actividades humanas, la calidad de vida de sus habitantes y la disponibilidad de recursos ambientales para su sobrevivencia. Metodológicamente se trabaja con la historia sísmica local y se construye un diagnós-

**Hemilce B. Benavidez (1),
Carlos Monguilner (1),
Angel Fili (2).**

1 Instituto Regional de Planeamiento y Habitat – Facultad de Arquitectura, Urbanismo y Diseño de la Universidad Nacional de San Juan.

3 Postulante becario de la Universidad Nacional de San Juan.

hbenavidez@unsj.edu.ar

tico orientado a la gestión del riesgo sísmico a nivel municipal-provincial adecuando la información a visualizar situaciones de desastre. El diagnóstico incluye la percepción ambiental y representación social tanto del desarrollo como del riesgo de los habitantes de los municipios seleccionados. En este trabajo se expone una síntesis de los escenarios actuales y futuros del Departamento de Jáchal y Albardón.

INTRODUCCIÓN

En ambientes donde la actividad sísmica es muy importante, esta incide en la relación entre desarrollo, ambiente y sociedad y aunque generalmente se asocia a los niveles de urbanización, la prevención y mitigación no puede limitarse solo a las ciudades sino extenderse también a todas las actividades humanas, a todo tipo de asentamiento ya que condiciona tanto la calidad de vida como la disponibilidad de recursos ambientales. Franco Lavell (1996) sostiene que "Los desastres son el producto de procesos de transformación y crecimiento de la sociedad, que no garantizan una adecuada relación con el ambiente natural y construido que le da sustento", o en otras palabras como lo han expresado Wijkman y Timberlake, (1984), problemas no resueltos del desarrollo, en donde la vulnerabilidad existente es una manifestación de déficit en el desarrollo.

En los terremotos, la pérdida de infraestructura, producción y vidas humanas, están relacionados en general, con los niveles preexistentes de riesgo. Tanto Blakie como Hewit (1996), sostienen que "El tipo, estructura y nivel de vulnerabilidad establecido, condicionan el daño que puede ser causado por un evento físico particular". En el caso de la provincia de San Juan, el peligro afecta principalmente a los asentamientos humanos localizados en los oasis – únicos espacios habitables- que se unen entre sí por medio de la red vial.

Luego de cada evento sísmico destructivo estos asentamientos, han sufrido empobrecimiento marginación y desarraigo como lo atestigua la historia provincial luego de los sismos de 1894, 1941, 1944, 1952 y 1977, confirmando las afirmaciones teóricas precedentes.

El desarrollo humano y económico de la provincia de San Juan, se apoya históricamente en la agroindustria y paralelamente la capacidad ambiental para esa actividad está acotada a menos del 2% del territorio fundamentalmente en el oasis de Tulum, Ullun, Zonda y en segundo término el de Jachal, Huaco.

Este modelo económico se desarrolló con grandes desequilibrios territoriales, concentrando la población, la producción y toda la actividad económica, política y administrativa en la ciudad de San Juan y sus alrededores –oasis de Tulum– y por lo tanto con alta exposición y vulnerabilidad a la actividad sísmica.

Las actuales administraciones nacional y provincial, buscan revertir esta situación provincial –similar a otras en el ámbito nacional– a través de una política de estado: la “Política Nacional de Desarrollo y Ordenamiento Territorial El “Plan Estratégico Argentina 2016.

La propuesta refuerza algunas líneas más o menos consolidadas de la actividad económica provincial tal como la agroindustria y la actividad minera de escala nacional, y promueve la apertura hacia otras que fueron planteadas históricamente como alternativas del desarrollo provincial, ahora propuestas en el marco de la economía global vigente tales como: El Corredor Bioceánico Porto Alegre- Coquimbo, la minería de gran escala, el turismo temático, nacional e internacional.

La Propuesta de Modelo Territorial de la Provincia de San Juan 2016 de la actual administración provincial (Figura 1), centra la transformación económica en la diversificación de la producción y perfora el territorio en su porción norte abriendo canales de comunicación con otros territorios nacionales –el norte argentino– e internacionales – Brasil– y por lo tanto con potenciales mercados consumidores de la producción local.

Figura 1: Gobierno de San Juan, Ministerio de Infraestructura Propuesta de Modelo Territorial San Juan 2016



La orientación pluri direccionalidad planteada a nivel general tiene un impacto importante en los Departamentos de Jáchal y Albardón, es por ello que en la Facultad de Arquitectura, Urbanismo y Diseño se formuló y se desarrolla un proyecto de investigación -aprobado y financiado por la Universidad Nacional de San Juan- denominado "Sustentabilidad de las actividades humanas en el centro-norte de la provincia de San Juan", que se plantea: ¿Cuál será la exposición de esos escenarios futuros ante la peligrosidad sísmica local de Jáchal y Albardón?

El trabajo parte de la hipótesis que "El riesgo sísmico de los departamentos de Jáchal y Albardón condiciona la calidad ambiental de los oasis y la sustentabilidad de los territorios departamentales considerados, condicionando la competitividad de los mismos al exponer su infraestructura productiva y la supervivencia de sus recursos humanos por lo cual se requiere su integración a los planes de desarrollo local"

Se utiliza la metodología de los escenarios buscando coherencia entre el Plan San Juan 2016 y los resultados alcanzados para que sus resultados puedan contribuir a la Gestión del Riesgo Sísmico, tanto a las administraciones de los casos de estudio como a la administración provincial en general.

Esta metodología es una de las herramientas más utilizadas en Prospectiva. Los escenarios se construyen como un conjunto de circunstancias que surgirán a partir de un suceso. Para el caso del Departamento Jáchal, el sismo utilizado fue el del 27 de octubre de 1894, único evento conocido que tuvo epicentro en el norte sanjuanino. Este sismo histórico, anterior a la instalación de la red sismológica nacional produjo importantes daños en la zona.

A su vez, para el Departamento Albardón, se revisó la historia sísmica reciente. Los terremotos de magnitud Richter mayor de 6 fueron los que provocaron daños importantes en el Departamento: 1894, 1941, 1944, 1952, 1977.

LOS CASOS DE ESTUDIO

Los departamentos de Jáchal y Albardón son las unidades político-administrativas de la porción centro-norte del territorio provincial ocupando Jáchal la mayor parte del mismo. Una primera aproximación a las características de estos municipios puede tenerse de los cuadros 1 y 2:

Jáchal - Cuadro 1

| Recursos físicos | | Recursos humanos | |
|--------------------------------|---------------|---------------------------------|----------------------------------|
| Superficie Dpto. | 1 474 900 has | Habitantes (Indec 2001) | 20.018 |
| Superficie productiva con agua | 4600 has | Capacidad laboral | 16% desocupados 49% inactivos |
| Porcentaje territorio dptal. | 0.31% | Nivel de educación predominante | primaria |

Albardón - Cuadro 2

| Recursos físicos | | Recursos humanos (Indec 2001) | |
|--------------------------------|-----------|---|---------------------|
| Superficie Dpto. | 91500 has | Habitantes | 20.413 |
| Superficie productiva con agua | 3588 has | Capacidad laboral (actividad principal: agro productiva) | 13.60.% activos |
| Porcentaje T. dptal. | 3.91% | Nivel de educación predominante | 1º completa y 2º |

A continuación se exponen las características del ambiente natural asociados al peligro sísmico, el escenario seleccionada -considerando su relevancia tanto en el proceso de transformación como así también agente de transformación-, su vulnerabilidad y finalmente un plan de acción inmediato para contribuir a su sustentabilidad frente al riesgo sísmico para cada caso analizado.

AMBIENTE NATURAL DEL DEPARTAMENTO JACHAL

El ambiente natural del Departamento Jáchal, se define por dos cordones montañosos, uno de orientación norte-sur- el más importante-, esta limitado al oeste por el valle de Iglesia-Angualasto y al este por el valle formado por las nacientes de los ríos Huaco y Jáchal. Su altura máxima se encuentra en el cerro Alumbre que alcanza la altura de 3460 mt.

El perfil de este cordón es irregular, mostrando en general un relieve muy accidentado, con muchos valles longitudinales que delimitan a otros cordones de menor importancia.

El segundo cordón serrano, ubicado en la zona oriental de la zona estudiada, se levanta desde Niquivil, con alturas de 1300 mt con dirección nor-este cambiando paulatina-mente hacia el norte. Su altura máxima es de 2351 mt correspondiente al cerro Potrerillo, teniendo un ancho máximo de 14 Km a la latitud del cerro Perico.

En general son cerros escabrosos que no permiten el paso de oeste a este debido a sus empinadas laderas con pendientes de hasta 70°, desarrollando numerosos valles longitudinales que dividen al cordón oriental en varios cordones secundarios, siendo el más importante el determinado por el río Pampita que separa la serranía de Perico de la de La Ciénaga.

Los dos ríos con caudal permanente que recorren la zona son el Jáchal y el Huaco, siendo el primero por su caudal y zona de influencia el más importante.

DESCRIPCIÓN DE LAS FORMACIONES GEOLÓGICAS DEL CUATERNARIO

Las formaciones del cuaternario, únicas formaciones de interés desde el punto de vista de la sismoresistencia, cubren una parte importante de la zona en estudio, predominando esencialmente en el valle occidental de Iglesia, Rodeo-Angualasto. Están constituido principalmente por depósitos aluviales del tipo de: conos aluviales, conos de deyección, terrazas aluviales, acarreo modernos..

NIVEL FREÁTICO

La profundidad de la capa freática de la zona se puede estimar a través de estudios del agua subterránea efectuados por la Secretaría de Recursos Hídricos de la Provincia de San Juan (SRH).

De acuerdo a estudios geofísicos realizados SRH, la cuenca sedimentaria puede tener hasta un espesor de 600 mt, constituida principalmente por gravas, gravillas y arenas depositadas exclusivamente por el río Jáchal. Espesor similar aunque con distribución más reducida se ha comprobado para la cuenca de Niquivil.

La recarga se efectúa principalmente por la infiltración que se produce en los canales de riego no revestido. A este tipo de recarga se le suma las ocasionales crecientes, lluvias y aportes de los arroyos laterales al bolsón de Jáchal.

EL TERREMOTO CON EPICENTRO LOCAL: 27 DE OCTUBRE DE 1894

El terremoto del 27 de octubre de 1894 ocurrió a las cuatro y media de la tarde con epicentro en el noroeste de la Provincia de San Juan, en el límite con La Rioja, con magnitud estimada Mw 7.5. Ocasionó daños de consideración en casi todas las localidades de la provincia de San Juan y La Rioja. Fue percibido en un área de más de tres millones

de km² y se le considera el más importante de todos los ocurridos en nuestro país desde la colonización española por lo que recibió el nombre de Terremoto Argentino.

En los estudios de un sismo histórico –pre instrumental- como el caso de estudio, es fundamental la obtención de la mayor cantidad de documentos, preferentemente de fuentes primarias para definir lo más fielmente sus características como los efectos y permitir a la luz del conocimiento actual una mejor interpretación histórica y sismológica de los datos.

El proyecto dedicó un importante esfuerzo en estudiar la correlación de las crónicas y documentos técnicos existentes con lo cual pudo construirse el Mapa de la Figura 2 de Isosistas, integrando información geológica, sismológica y crónicas históricas.

Figura 2: Mapa Geológico y de Isosistas del Terremoto de 1894 en Jáchal



**Informe de Vecinos:
Jacinto Diaz**

**Informe Catalogo de
Terremotos para América
Latina CERESIS**

ESTIMACIÓN CUALITATIVA DEL RIESGO SÍSMICO EN JACHAL

Las condiciones enunciadas y el antecedente sísmico estudiado -1894-, hacen estimar que es muy probable que ocurran grandes amplificaciones de los movimientos del terreno producidos por terremotos en la zona en donde se encuentra construida la ciudad de Jáchal.

También se observa, debido a la constitución del suelo y niveles freáticos, un alto potencial de licuefacción de suelo en zona noroeste (formación Pachimoco), aunque podría ocurrir también este fenómeno en otros lugares de la zona en estudio.

De los análisis comparativos, se puede deducir que los efectos de 1894 en Jáchal son aproximadamente similares a 1977 en Caucece teniendo en ambos casos una intensidad de "IX." en la Escala de Mercalli Modificada.

ESCENARIO: NODO FUNCIONAL: CIUDAD DE SAN JOSÉ DE JACHAL

La ciudad se localiza en el cruce de la Ruta Nacional Nº 40 y la Ruta Nacional Nº 150 –porción provincial del futuro Corredor Porto Alegre-Coquimbo.

La ciudad de San José de Jáchal, tiene actualmente alrededor de 10299 habitantes, el 49% de la población del departamento, el 51% restante es población rural, ubicada en pequeñas localidades: Villa Mercedes, Huaco, Niquivil, Huerta de Huachi, la Ciénega, Pampa Vieja, Gran China, Entre Ríos, baricéntricas de San José.

Sobre la traza fundacional en damero alrededor de la plaza, se levantan edificios de carácter institucional como el municipal, culturales como la Biblioteca Popular D. F. Sarmiento, el Centro Cultural y religiosos como la antigua Iglesia de San José de Jáchal.

El espacio construido del área central de la ciudad son principalmente casonas de adobe desarrolladas alrededor de un patio central y con huertas de frutales y parrales que comparten la manzana con edificios institucionales, de servicios y comercio.

La infraestructura existente como su calidad se desarrollan en el Cuadro 3.

Cuadro 3: Infraestructura de Servicios

| Servicio | Escala | Usuarios | Calidad B R M | Comentarios |
|-------------------------------------|-----------------------------|----------|------------------|---|
| Agua Potable Domiciliaria | Osse- | 80% | | Planta de distribución Servicio Insuficiente |
| Red de Riego | sectorial | 30% | | Sectores antiguos cuentan con riego entre parcelas en el centro de la manzana |
| Arbolado público | Alrededor de la plaza dptal | | | Escaso |
| Desagües Cloacales | particular | 100% | | No hay red urbana. Abundan los pozos sépticos colapsados |
| Desagües Pluviales | municipal | | | Antiguos, sin mantenimiento, insuficientes |
| Limpieza Urbana | municipal | | | Servicio diario. Según época del año insuficiente. Sin equipamiento para situaciones de emergencia urbana |
| Energía Eléctrica Domiciliaria | departamental | 70% | | Central Salto de la Loma (30km.)Caidas de Tensión. Cortes frecuentes en verano |
| Energía Eléctrica Alumbrado Público | departamental | 90% | | Red antigua e incompleta |
| Gas | particular | 100% | | Alto costo |
| Telecomunicaciones | Local-provincial | | | Radios locales. TV retransmisoras Conexiones a servicios satelitales |
| Teléfono | Nacional | 30% | | Insuficiente- capacidad insuficiente |
| Telefonía Celular | Nacional | 50% | | Alternativa al alcance de toda la población limitada por los alcances de cada empresa |
| Internet | Global | | | Suficientes locales con conexión de acceso público |

VULNERABILIDAD SÍSMICA DEL ESPACIO PÚBLICO

En los cuadros 4 y 5 se valora la vulnerabilidad del espacio público y privado de la ciudad de San José de Jáchal. Estos son una síntesis de los aspectos analizados: tecnología, antigüedad y estado de mantenimiento. Cuando alguno de ellos es relevante y hace particularmente vulnerable al sistema o elemento analizado se comenta en la matriz.

Cuadro 4: Vulnerabilidad del Espacio Público

| | VA | VM | VB | |
|--------------------|----|----|----|---|
| Edificios Públicos | | | | Institucionales-Escuelas-Salud |
| Red Vial | | | | Urbana Sin jerarquía y escaso mantenimiento |
| Red agua potable | | | | Antigua en el casco histórico y consolidado |
| Red Riego | | | | De tierra Recorridos incompletos |
| Red Eléctrica | | | | Escaso mantenimiento y actualización |
| Espacio Público | | | | Por la relación entre altura edificada y calzada Retiros L.E. Mampostería de tierra |

Cuadro 5: Vulnerabilidad del espacio privado

| Espacio Privado | VA | VM | VB | Observaciones |
|-----------------------|------------------|--------------------|---------------------|---|
| Vivienda | Area Central (*) | Consolidada | Barríos Periféricos | (*) Proyecto Municip. "Patrimonio Histórico Provincial Area Central ciudad de San José" |
| Locales Comerciales | Area Central | Consolidada | | |
| Locales de Servicios | Area Central | Consolidada | | |
| Bodegas | Inactivas | En actividad | | |
| Galpones Industriales | | Zona de Hortalizas | Zona de Hortalizas | |

AMBIENTE NATURAL DEL DEPARTAMENTO ALBARDÓN

"El Departamento Albardón se emplaza en el oasis de Tulum, el que puede definirse como una depresión colmada por sedimentos y sedimentitas del Cuaternario y del Terciario que contiene una cuenca de agua subterránea de unos 3.700 Km² de extensión. Su base impermeable está integrada básicamente por rocas de edad terciaria que presentan una topografía ondulada vinculada a pliegues y fallas.

RECURSO HÍDRICO SUBTERRÁNEO

Los sedimentos cuaternarios que rellenan la cuenca, fueron depositados principalmente por el río San Juan, curso que ha construido un amplio cono y una llanura aluvial. Estos sedimentos constituyen el reservorio de agua subterránea de la cuenca del Valle de Tulum y poseen espesores variables entre unas decenas hasta 600 a 700 m, albergando acuíferos de tipo libre y confinados.

Su principal fuente de recarga es el río San Juan y tiene lugar aguas abajo del embalse de Ullum en la zona apical y media del cono aluvial.

La zona de recarga de los acuíferos está representada por las áreas de freática elevada que se localizan en el sector distal del cono aluvial, de donde nacen dos cauces naturales: los arroyos Los Tapones y Agua Negra. La profundidad del agua subterránea está comprendida entre escasos centímetros y 15 m.

ESTIMACIÓN CUALITATIVA DEL RIESGO SÍSMICO EN ALBARDÓN

La actividad sísmica del oasis de Tulum se ha expresado en los últimos 100 años con los terremotos destructivos: 1941, 1944, 1952, 1977, con magnitud ML >6, como puede apreciarse en el cuadro 6:

Cuadro 6 Terremotos destructivos mayor a Magnitud 6 (Richter) en la Provincia de San Juan

| Sismo | Magnitud | Latitud | Longitud | Distancia Hipocentral | Falla Activa | Obs |
|-------------------------------|----------|---------|----------|-----------------------|---|---------------------|
| 1941 (3-07, 3.12hs) | M 6.3 | -31.800 | -67.800 | 20 km | Ampacama-Niquizanga Sudeste Pie de Palo | Ídem Epicentro 1977 |
| 1944 (15-01 20 49' hs) | M. 7.4 | -31.500 | -68.600 | 30 km | Falla Tapia - La Laja | (2) |
| 1952 (11-junio 21.30 hs) | M 7.0 | -31.450 | -68.300 | 30 km | Falla Rinconada | |
| 1977 (23-nov 6.23.23.4 hs) | M 6,6 | -31.300 | -67.700 | 17 Km. | Ampacama-Niquizanga Nor-este de Pie de Palo | Evento múltiple |
| 1977 23-nov 20" seg. Después) | M 7.4 | -31.300 | -67.700 | 25 Km. | Ampacama-Niquizanga Sud-este de Pie de Palo | |

Observación 2- El terremoto de San Juan del 15 de enero de 1944, es el que ocasionó mayor cantidad de víctimas, oscilando entre seis a diez mil el número de personas muertas a consecuencia del mismo (aproximadamente el 10% de la población)

La vulnerabilidad sísmica en el Departamento Albardón está asociada principalmente a tres factores ambientales:

- Las fuentes sísmicas provinciales
- Los suelos de la llanura aluvial del Río San Juan
- Sistema de Fallas La Laja

El oasis de Tulum se ubica al este de la línea de convergencia entre la Placa de Nazca y la Placa Sudamericana -aproximadamente 350 km-. Mientras que la Placa de Nazca se mueve hacia el este y subduce la Placa Sudamericana, que se mueve hacia el oeste. La velocidad de movimiento relativo en la latitud de San Juan es de aproximadamente 11 cm. por año.

Estas Placas se comportan como rígidas, por lo que al enfrentarse con movimientos opuestos, generan y acumulan grandes tensiones, cuyo resultado es la actividad sísmica regional que da lugar a las fuentes

Esta actividad sísmica se puede definir tanto por la profundidad, en dos zonas bien diferenciadas: la de poca profundidad (5 a 50 km) y la de profundidad intermedia (80 a 120) en las prov de cuyo como por la distribución de fuentes sísmicas potenciales, concentrando en el Valle de Tulum la mayor actividad. Uno de los fenómeno manifestado en Albardón como consecuencia de todos los terremotos locales es el de licuefacción de suelos ya que se cumplen los principales factores desencadenantes del fenómeno ante un sismo de magnitud mayor de 6 (seis):

- Edad de los materiales sedimentarios;
- Profundidad de la capa de agua subterránea (nivel freático);
- Granulometría del suelo;
- Densidad y cohesión de los sedimentos.

El Informe Idriss sobre el Valle de Tulum, valida la existencia de numerosos paleocanales rellenos en la llanura aluvial del río San Juan, emplazamiento de Albardón. En particular, en La Laja, localidad ubicada en el piedemonte suroriental de la Sierra de Villicum al norte del Departamento Albardón se halla un sistema de fallas que afecta sedimentos aluviales y travertinos de edad cuaternaria.. Bastias (1986) ubica la zona de fracturación dentro del sistema de Fallamiento Cuaternario Precordillera Oriental.

Las fallas son inversas poseen rumbo N 40°E en generan coincide con la estratificación de sedimentitas terciarias La longitud de las distintas secciones de falla varía entre 6 a 8 km. Se destacan cuatro fallas en el piedemonte oriental de la sierra de Villicum, poseen alturas variables desde pocos centímetros hasta algunas decenas de metros. La actividad sísmica de este sistema quedo expresada en el terremoto del 15 de enero de 1944 (Ms 7.4)

EL TERREMOTO CON EPICENTRO LOCAL: 15 DE ENERO DE 1984

El popularmente conocido como Terremoto de San Juan ocurrió a las 20.49 hs del 15 de enero de 1944. Se caracterizó por su corta duración pero con enorme poder destructivo -la ciudad de San Juan quedo completamente en ruinas- y el número de víctimas -aproximadamente el 10% de la población-.

Su magnitud fue de 7,4 grado en la escala Richter y produjo desplazamientos verticales de 0,40 cm a lo largo de 10 km. La evaluación de daños realizada por Castellanos (1945) luego del terremoto de 1944 en Albardón, informa el deceso de 555 muertos y 300 heridos. El colapso de más del ochenta por ciento de las construcciones de adobe y mampostería de piedra y ladrillo.

La infraestructura vial quedó fuertemente dañada. El Camino a La Laja, quedó interrumpido con un escalonamiento de aproximadamente 0.50 m

Se pudo comprobar licuefacción de suelo en varias localidades de Albardón. Como consecuencia de este fenómeno, el estribo norte del puente Albardón-San Juan sufrió agrietamiento y dislocación en su unión este.

VULNERABILIDAD SÍSMICA DEL ESPACIO PUBLICO DEL DEPARTAMENTO ALBARDÓN

El capital social expuesto en el departamento Albardón puede verse en el cuadro 7, advirtiendo que la Red Vial, capital estratégico para la economía del departamento muestra una importante vulnerabilidad ante el peligro sísmico.

Cuadro 7 Vulnerabilidad sísmica del Espacio Público del Departamento Albardón

Referencias: VA: vulnerabilidad alta - VM: vulnerabilidad media - VB: vulnerabilidad baja

| | VA | VM | VB | |
|--------------------|----|----|----|---|
| Edificios Públicos | | | | Institucionales- Escuelas-Salud: construcciones SR en diferentes estados de mantenimiento |
| Red Vial | | | | Tramos localizados sobre terrenos con riesgo de licuefacción R40 muy buen estado RP53 buen estado, calzada estrecha en función de la demanda Predominan las vías pavimentadas. Huellas mineras |
| Agua Potable | | | | OSSE Agua potable en todo el área habitada con diferentes niveles de conexión |
| Red de Riesgo | | | | Canal Quiroga (del Norte), con presupuesto para financiar obras de extensión de tendido y actualización tecnológica. Estratégico para el Departamento y Vecinos |
| Red Eléctrica | | | | Energía San Juan: el consumo promedio es bajo, puede indicar falta de actividad productiva. Diferentes estados de antigüedad y mantenimiento |
| Espacio Público | | | | Los espacios más dinámicos: calle La Laja y Villa San Martín. Con actividad comercial y de servicios . Predominan las construcciones mixtas. |

ESCENARIO: RED VIAL

La Red Vial de Albardón es dominio del Gobierno Nacional y Provincial. No hay vías de dominio municipal por lo cual el mantenimiento e intervención no dependen directamente de esa jurisdicción. La Red Vial del Departamento Albardón queda descrita en los Cuadros 8, 9, 10

Cuadro 8 - Rutas Nacionales en el Departamento Albardón

| ruta | Tramo | Distancia entre localidades | Tipo de calzada | observaciones |
|----------|--------------------------|-----------------------------|---|--|
| RN Nº 40 | Acceso Norte Matagusanos | 34.41 Km. | Carpeta asfáltica y tratamiento sobre tratamiento | Con arrastre de barro y agua en badenes |
| RNNº 40 | Matagusanos Tucunuco | 75.51 | Tratamiento sobre tratamiento | Desde km 222 a km 249 calzada con baches, luego zona de badenes, banquinas erosionadas |

La Red Primaria Provincial busca complementar la Red Troncal Nacional con el objeto de vincular las principales localidades y cabeceras departamentales y estas con las provincias limítrofes.

Fueron concebidas para lograr la movilización de la producción –principalmente vitivinícola- hacia la ciudad de San Juan y los centros de industrialización de escala nacional. La Red está orientada en sentido N-S y E-O, y en Albardón se organiza como se describe en el Cuadro 9 y 10.

Cuadro 9

| Ruta Número Orientación E-O | Designación tramo | Pavimento km | Mejorado km | Tierra km |
|-----------------------------|-----------------------|--------------|-------------|-----------|
| 79 Av. sarmiento | RP 54 RN40 | | 14.260 | |
| 102 La Laja | RP 79 Baños | 11.750 | | 16.950 |
| 67 Nacional | Calle Francini RP 102 | 5.100 | | |
| | Rp 102 RP 112 | | 0.325 | |
| | RP 112 RP 126 | | | 1.900 |
| 83 Italia | RP 79 RP 126 | | | 4.800 |

Cuadro 10

| Ruta Número Orientación N-S | Designación tramo | pavimento | mejorado | tierra |
|-----------------------------|--------------------|-----------|----------|--------|
| 86 Rawson | RP79 RN 40 | | 1.730 | |
| | RN 40 RP 67 | 1.216 | | |
| | RP 67 RP 86 | | 4.714 | |
| 94 Tucumán | Rio San Juan RP 83 | | 0.550 | |
| | RP83 RP 67 | 1.750 | 3.700 | |
| | RP 67 RP 86 | | | |
| 112 Lozano | RP67 Prog 8,05 | | 7.800 | |

También existe un recorrido de huellas mineras:

Canteras La Laja: desde baños de La Laja por camino asentado; Canteras Villicum: Desde Ruta Nacional Nº 40 por huella minera; Minas de Villicum_ desde Ruta Nacional. Nº 40 por huella minera sin mantención.

CONCLUSIONES

Para la reestructuración del desarrollo en el territorio de la provincia de San Juan, se pueden identificar dos escenarios estratégicos en el centro-oeste provincial: la ciudad de San José de Jáchal y la red vial del Departamento Albardón.

El diagnóstico cualitativo realizado sobre estos elementos los muestra vulnerables al peligro sísmico -en particular la ciudad de San José de Jáchal- y con gobiernos municipales con estructuras técnicas, económicas y administrativas insuficientes para resolver a esa escala las necesarias transformaciones espaciales .

Esta vulnerabilidad sísmica se contrapone a la sustentabilidad del modelo de desarrollo propuesto, por este motivo se remarcan la necesidad de gestionar el riesgo sísmico en todas las acciones de la Política a escala Provincial. En el cuadro 11, se sugieren algunas líneas de acción con este fin para los casos de estudio.

| DEPARTAMENTO | ESCENARIO ESTRATEGICO FUTURO | GESTIÓN DEL RIESGO SÍSMICO | |
|--------------|---|--|---|
| ALBARDON | RED VIAL COMERCIAL-TURÍSTICA RNº 40 – RP Nº 79 | <p>ACTUALIZAR ESTUDIOS GEOLOGICOS-LICUEFACCIÓN,-REVENIÓN EN LA ZONA DE EMPLAZAMIENTO</p> <p>RE-DISEÑAR LAS VIAS Y LAS ARTICULACIONES CON LA RED EXISTENTE EN FUNCIÓN DE LAS DEMANDAS</p> <p>EQUIPAMIENTO PARA LA EMERGENCIA-HELIPUERTOS-TELEFONIA</p> <p>MITIGAR LA ESPECULACION INMOBILIARIA SOBRE TERRENOS COLINDANTES CON LAS VIAS ENUNCIADAS</p> | PROMOVER EL FORTALECIMIENTO DEL GOBIERNO MUNICIPAL TÉCNICO-ECONÓMICO-ADMINISTRATIVO |
| JACHAL | NODO INSTITUCIONAL-COMERCIAL SAN JOSÉ DE JACHAL | <p>MICROZONIFICACIÓN SÍSMICA URBANA</p> <p>FILTROS ESPACIALES ENTRE LA CIUDAD Y EL CORREDOR</p> <p>FORTALECIMIENTO DE LA GESTIÓN DEL SUELO ESCALA MUNICIPAL</p> <p>COMBATIR LA ESPECULACION INMOBILIARIA</p> | |

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ministerio de Planificación Federal, Inversión Pública y Servicios, Poder Ejecutivo Nacional: "ARGENTINA 2006" Política y Estrategia Nacional de Desarrollo y Ordenamiento Territorial., www.minplan.gov.ar
- Gobierno de San Juan, Ministerio de Infraestructura y Tecnología, Secretaría de Servicios Públicos: "Propuesta de modelo territorial provincia de San Juan 2016"
- Centro Regional de Sismología para América del Sur: "Catálogo de Terremotos para América del Sur" Volumen 2, 1985
- Castellanos, A: "Cuatro lecciones sobre terremotos. Parte B. El terremoto de San Juan" Santa Fe. Argentina. Asociación Cultural de Conferencias de Rosario. Publicación 6 1945
- Instituto Nacional de Prevención Sísmica: "Microzonificación sísmica del valle de Ttulum - provincia de San Juan: TOMO I, II Y III ·Resumen Ejecutivo ·
- Perucca, Laura P., Paredes Juan de D. "Fallamiento cuaternario en la zona de La Laja y su relación con el terremoto de 1944, Departamento Albardón, San Juan, Argentina
- Revista Mexicana de Ciencias Geológicas v. 20, num I 2003, pag. 20-26
- Lavell, A; Franco, E: "Estado, sociedad y gestión de los desastres en América Latina" La Red Peru, 1996
- Wijkman, A. y L. Timberlake (1984) Desastres naturales, actos de Dios o del hombre? Hechos Earthscan
- Blackie, P "Vulnerabilidad, el entorno social, político y económico de los desastres" La Red, Perú 1996
- Hewitt, K. 1996. Regions of risk: a geographical introduction to disasters. Londres, Reino Unido, Addison-Wesley Longman.

Comparison of Classification Methods on Geomorphometric Data of Peteroa Volcano Area

ABSTRACT

Four different geomorphometric classifications of local topographic gradients for the Peteroa Volcano area are introduced and compared. The compared methods are Iso-data, Tandem Analysis on correlation and covariance matrices, and the segmentation following a Hierarchical Factorial Classification of gradients. Input data are obtained by processing a raster Digital Elevation Model extracted from ASTER stereo-pairs. The resulting maps show the spatial distribution of homogeneous landform units, highlighting the impact of erosional and tectonic processes on the whole relief. Moreover, each class is being described by either mean gradient values or mean topographic attributes such as elevation, slope and aspect. Next, these data are interpreted in terms of morphological setting.

INTRODUCTION

In [1] Poscolieri proposed the idea of multidimensional geomorphometric classification, by using the ISODATA clustering method [2] to classify the pixels of by-products of a raster Digital Elevation Model (DEM) resulting from different case-studies. The usual approaches, aiming at defining borders of homogeneous terrain units [3], are based on landforms attributes, that include slope, aspect, and elevation among many others. Conversely, Poscolieri [1] proposes to take advantage of the local topographic gradients only, as identified by comparing each pixel elevation with that of its 8 nearest neighbours.

In this work, still in progress, the aforementioned approach is applied to model the morphological setting of the Peteroa volcano area. The aim is at comparing the ISODATA results with those of two other clustering procedures: Tandem Analysis and Optimized Factorial Clustering.

**S. Camiz (1),
J.J. Denimal (2),
M. Poscolieri (3).**

1 Dipartimento di Matematica Guido Castelnuovo, Sapienza Università di Roma - Italy

2 U.F.R. de Mathématiques Pures et Appliquées, Université des Sciences et Technologies de Lille - France

3 CNR - Istituto di Acustica e Sensoristica, Roma - Italy

maurizio.poscolieri@idasc.cnr.it

The visual impact of the relief in the resulting maps is an important issue for the evaluation of the consequent classification. At the moment, no methods seem available for such evaluation, unless to characterize the obtained classes through the statistics of both the gradients used as input and the landforms parameters. For this task, we shall use slope, aspect, and elevation.

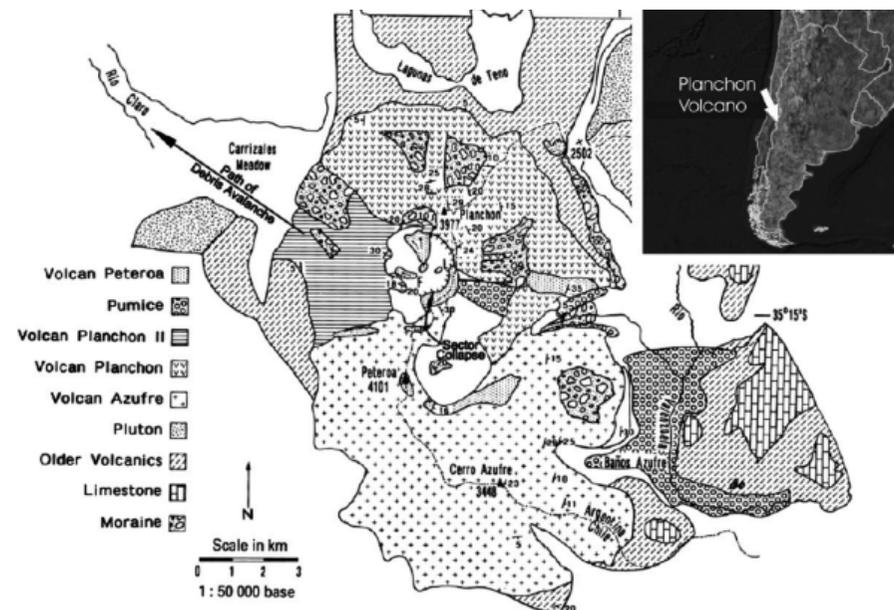
Figure 1 - Aerial view of the Azufre-Planchon-Peteroa volcanic complex summit from NW during its activity in Fall 2010.



THE SITE AND THE DATA

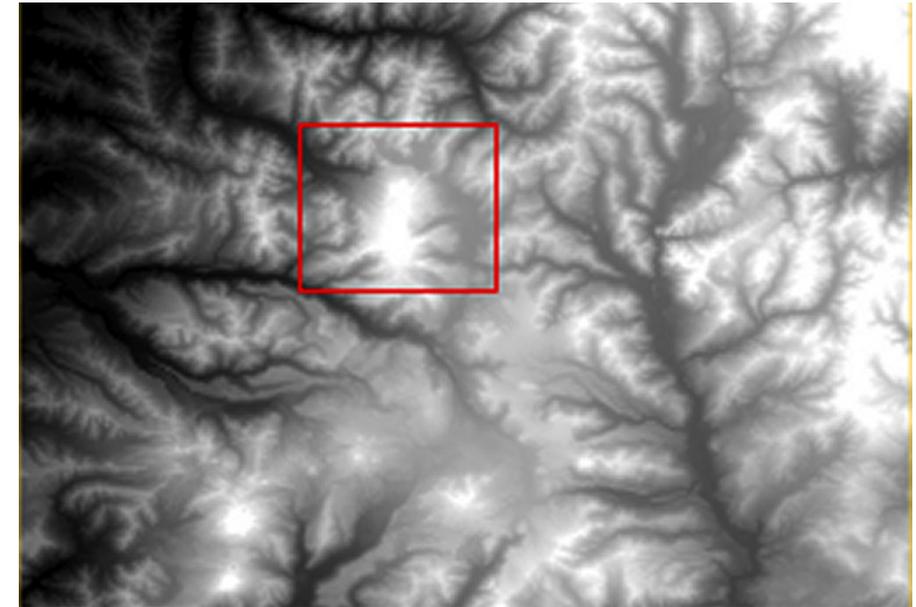
The Peteroa Volcano (Figure 1) is located 110 km West of Malargüe town, in the Argentinian province of Mendoza, and belongs to the Azufre-Planchón-Peteroa volcanic field. This large, basaltic to dacitic, volcanic complex is located in the Andes, on the Chile-Argentina border, at 35°15'S latitude and 70°35'W longitude. It covers an area of 78.5 sq.km. and reaches at its summit 4,107 m a.s.l., with several overlapping calderas.

Figure 2 - Geological sketch map of the volcanic complex of Azufre-Planchon-Peteroa.



The structure of the edifice is complicated by at least 2 syn-volcanic glaciations and a large debris avalanche (the Teno Lahar) that removed a sector of Planchón. The volcanic activity began in the Pleistocene with the emerging of Volcano Azufre, followed by the formation of Planchón (now 3977 m), 6 km North. About 11,500 years ago, much of Azufre and part of Planchón collapsed, forming the massive Rio Teno debris avalanche, which reached Chile's Central Valley. Subsequently, Volcano Planchón II was formed. The youngest Volcano Peteroa, consisting of scattered vents between Azufre and Planchón, has been active into historical time and contains a small steaming crater lake (Tormey et al., 1989). In Figure 2 the geological sketch map of the volcano complex is shown [4].

Figure 3 – ASTER GDEM tile containing the volcanic complex of Azufre-Planchon-Peteroa. In the red frame the study area.

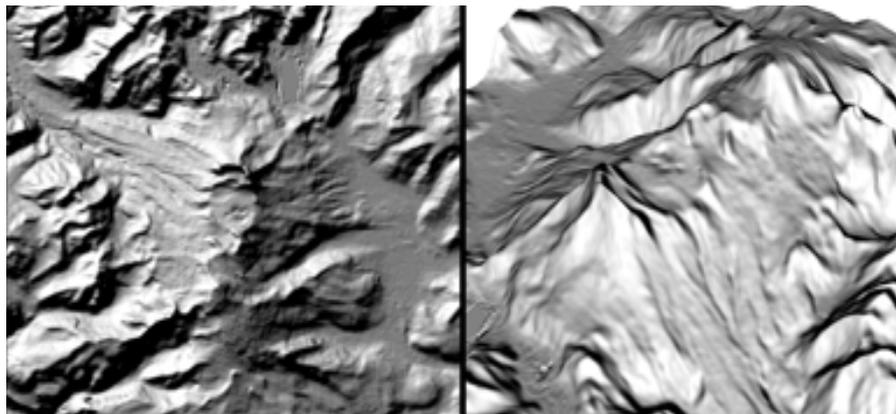


During a large part of its history this eruptive centre exhibited an effusive style: a monotonous pile of lava flows with interbedded pyroclastic breccias. In the early Holocene a catastrophic episode caused the collapse of the western part of Planchón. As a consequence, a debris flow generated, which travelled 75 km down the Teno river carrying 9 km³ of material. A Plinian type eruption, presumably related to the avalanche, carried out abundant tephra to the Argentinian side. The pumice that mantles the upper Valenzuela river, turning those lands into an extreme arid environment, represents the most explosive and hazardous event in the early Peteroa's history. The later activity is essentially phreato-magmatic, with some explosion pits and old fumarolic fields in the summit. Eruptions occurred in 1762 and 1889-1894. Historical eruptions were dominantly explosive, although lava flows were erupted in 1837 and 1937. Historic activity has occurred in a 500 m diameter crater between the cones of Planchón (3977 m) and Peteroa (4101 m). The most recent lava flow was erupted in Feb. 1937. Explosive activity occurred during 1959, 1960 and 1967. In February 1991 the second-last eruption took place confirming the high eruptive frequency of the Peteroa.

The hydromagmatic episode raised a 500 m column and produced a plume which reached Malargüe town. Although in that occasion the economic damages were reduced (for example, interruption of the regular flights), the risk of lahar generation and ash falls of variable magnitude is always present [6]. Strong fumarolic activity and small phreatic eruptions produced minor ashfall in November 1998. Increased fumarolic activity occurred in early 2001. In Fall 2010 the volcano was changing again to moderately explosive eruptive activity, with a phreatic-vulcanian component (solid material) in the acid lakes of the crater zone and formation of eruption column of pyroclasts and gases affecting by ashfall an area of 120 sq.km around the volcano.

In order to obtain a DEM file of the volcano complex, we used the ASTER data. ASTER (Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection radiometer) Global Digital Elevation Model (GDEM) is the result of a joint-venture of Japan's Ministry of Economy, Trade and Industry and NASA (ASTER-GDF web site, http://www.gds.aster.ersdac.or.jp/gds_www2002/index_e.html). It is a database which is acquired by a satellite-borne sensor ASTER to cover all the land on Earth. The GDEM was created by stereo-correlating the 1.3 million scenes in the database, produced with 30 meter postings, and formatted in 1x1 degree tiles as GeoTIFF files (<http://www.gisdevelopment.net/technology/ip/mi03117pf.htm>). The GDEM data are free available for download from the site <http://www.ersdac.or.jp/GDEM/E/index.htm>.

Figure 4 – Zenithal (left) and 3D (right) shaded relief views of the volcanic complex of Azufre-Planchon-Peteroa. The 3D view is oriented as the picture in Figure 1.



To build the DEM file, we selected within an ASTER tile a rectangular subset 23.460 x 19.860 km large, centred on the volcanic complex of our interest, represented by a raster scene composed by 782x662 pixels. In Figure 3, the original tile is shown, the grey level corresponding to the elevation of each pixel. The red square entails the selected Peteroa area. Through a simulation of a given lighting geometry, based on the position of the illumination source (in our case, the sun at 1.30 pm) we obtained a shaded relief of the area: this is reported in Figure 4 as both zenithal view (left) and 3D one (4b), the latter oriented as the picture in Figure 1.

We then processed the DEM file taking into account the elevation value at a given pixel and those at the eight closest neighbours. This way, 8 elevation gradients were calculated for each pixel. In Remote Sensing, this corresponds to an 8-layer data set that may be analysed with classification methods as a multi-band imagery [1]. As well, the same data set may be seen as a data table of 517684 units with 8 characters and submitted to multidimensional analyses.

THE CLASSIFICATION METHODS

The identification of the intrinsic classification of the units of a sample through multi-dimensional clustering methods, based on a classical data table, is a task very difficult to achieve. Indeed, given a pattern of points in a multi-dimensional space, its shape and density may be so various that no method known so far can a priori ensure to provide a suitable partition of the sample. For this reason, the use of several different techniques is advisable and their comparison is of relevance to better understand the data structure: it is well known that each clustering method tends to perform better on some specific pattern than on others. In the quest for a good clustering method, that could be used in a routine activity on DEM data, we thought useful to start with the comparison of some exploratory methods, in order to evaluate their ability in providing suitable classifications, albeit not optimal, and to understand some of the problems that the classification of this kind of data may pose. In our case, we did not know a priori the pattern of units (that depends upon the specific area at hand) and we had an extra problem of computational kind, due to the very high number of units (pixels) to classify.

Thus, we adopted four different strategies:

- The Tandem Analysis, that is a Principal Component Analysis followed by a Hierarchical Classification on the units represented in a reduced-dimensional principal space. We did it using both covariance and correlation matrices.
- ISODATA: an agglomerative clustering method, similar to K-means, but more flexible, since it needs an interval, in which the number of classes should fall, and not a precise number of classes.
- The Segmentation following the Hierarchical Factor Classification, a new optimized technique, that merges the two steps of Tandem Analysis through a special hierarchical clustering of the variables that gives at the same time, for each node, a plane of representation. A segmentation of the units is thus possible, based on their representation on the different factor planes.

TANDEM ANALYSIS

With this term (first used by [7]) we refer to the sequence of an exploratory factor analysis followed by a hierarchical classification of units based on the distance among them on a selected principal space. The method belongs to the so-called exploratory data analysis techniques [8] as a cognitive model able to suggest a possible structure of the data, based on the search of ordination gradients as factors that influence the variation of the data and classifications that allow the partition of the units according to possible sub-populations in respect to the chosen factors. The method was introduced in the 70's [9,10] and as such implemented in several packages, including SPAD [11], but has been severely criticized by [7] among others, since, if the units of a data table are set according to a given classification, such a procedure may not detect the true classes of this "natural" partition, as a Discriminant Analysis could do. Nevertheless, Tandem Analysis revealed useful to search for possible partitions of the sample at hand compatible with the selected factors. Such partitions, albeit not necessarily natural, may contribute to identify homogeneous classes of units in respect to the factors, this way synthesizing the data structure [12]. Indeed, despite the criticism, the Tandem Analysis is still broadly used in exploratory context.

Given the quantitative nature of our data, we applied first Principal Component Analysis (PCA, [12]) based both on the covariance and the correlation matrices, and then a Hierarchical Ascendant Classification (HAC, [12,13]) based on the Euclidean distance on the

selected factor space and on the [14] criterion to aggregate the classes.

As the variance of the units' coordinates on the factors equal the corresponding eigenvalue, it must be remarked that classes tend to be separated according to the first factors, where distances among units are larger, than according to the others, where distances are smaller.

In the use of such a procedure, two choices are left to the user: the number of factors to take into account for the classification and the level at which to cut the hierarchy to obtain a partition. It is interesting to observe that both choices may be done after the analysis, thus based on the examination of the obtained results. In our case, the PCA results were so clear, that no specific method was needed. To cut the hierarchy, we chose a level followed by an important raise in the within groups inertia.

Indeed, the very large number of units in our case prevented the use of a HAC since the beginning, so that we applied first a K-means algorithm, to get 500 classes, then on these classes a HAC was performed. Eventually, once decided the suitable number of classes, another K-means was run, in order to get the classes more compact. This way, the obtained partition may result better than applying only a K-means algorithm, that would depend too heavily upon the starting random configuration.

It is noteworthy that we applied as well Tandem Analysis in order to compare the four partitions issued by the considered methods. This time, it was run based on Multiple Correspondence Analysis [12] an exploratory factor analysis technique specifically developed when data are qualitative. Indeed, for the comparison we built a data set containing, for all the image's pixels, the classes of belonging in each classification. This way we could build a dendrogram that showed us the structure of association among the groups of the four classifications.

HIERARCHICAL FACTOR CLASSIFICATION

The Hierarchical Factorial Classification of variables (in the following HFC) was first proposed by [23], see also [24], and further optimized [25]. Once all original variables are standardized, each of them is considered both a singleton group and the representative variable of this group. Then, the iterated procedure for the construction of the hierarchy is the following:

1. a PCA is performed on all pairs of representative variables, considering their covariance;
2. the pair is chosen, whose PCA results with the least second eigenvalue;
3. the two groups represented by the chosen pair are merged into a new group, that is a node of the hierarchy;
4. the first principal component of the PCA of the chosen group is taken as representative variable of the new group, since it represents what the two merged groups have in common;
5. the second principal component is taken as node variable, showing the internal differences within the node;
6. the second eigenvalue is taken as the node's hierarchy index, say ν_k for the k-th node;
7. a principal plane is associated to the node, on which both the representative variables of the joining groups and all the variables belonging to the node may be represented; as well, all the units may be represented there, as they are seen by only the variables belonging to the node.
8. The steps 1) to 7) are iterated until convergence.

Given this hierarchy, a partition may be built by cutting it at any level and the part of the hierarchy upper the cutting shows the relations among the nodes that compose the partition as classes. Indeed, as all classifications resulting from the cut of a hierarchy, this one would be far from optimal and in this case not only the classes but also their representative variables would be concerned, so that, an optimization process is required. In this case, the original hierarchy is optimized via a K-means-like procedure, in which each variable is reassigned not only to a terminal class but also to all nodes in the upper hierarchy that contain the class. The optimization criterion applied to this reallocation is then

$$Q = \sum_{k=1}^{p-1} \nu(k) \sum_{c \in P_k} \text{var}(y^c)$$

that is a weighed maximization of the variances of the representative variables y^c of each class of all nested partitions. Here, the indexes of the original hierarchy are chosen as weights, so that the upper levels' representative variables have a higher weight in the optimization process. As for K-means, it may be proved [25] that this optimization is convergent.

Once an optimal hierarchy is obtained, it is important that a partition obtained by cutting the hierarchy satisfies some criterion. Here it is important that the classes/nodes satisfy a homogeneity criterion, according to the correlation between the variables representative of the classes. More precisely a node $c = a \cup b$ is considered homogeneous if the representative variables y^a and y^b of the two subclasses a and b are significantly correlated, according to a simple correlation test. In this case, the node is not split and defines a cluster of the searched partition.

Thus, we may cut the dendrogram in order to keep only significant nodes: starting from the top of the hierarchy, each node $c = a \cup b$ merging two classes a and b is iteratively examined. Then, a partition is chosen as soon as the following node merges two classes whose representative variables y^a and y^b are significantly correlated.

With the chosen partition, say in h classes, an upper hierarchy of h-1 nodes results. Thus, h-1 principal planes are available, on which the representative variables of the merging classes and the variables that belong to the node are all represented. All units too are represented on these planes, as seen only by these variables.

This suggests to use the upper hierarchy as decision tree for the classification of units. More precisely, starting again from the top, hence from the first representative variable, the set of units is first separated in two clusters, according to the sign of their coordinates on the first principal component of the node, then optimizing the classes through a K-means procedure, and applying a test to check the significance of the difference between the means of the classes. These two clusters are kept only if the mean test detects a significant difference. On the contrary, the whole set of all the units is kept. As at each step each class is tentatively split into two, unless the splitting is not significant, the segmentation process produces a partition of units that depends upon the number of groups of the partition of the variables.

The complete process composed of the variables clustering and the resulted units classification is conditioned by the thresholds of the two tests: the correlation tests used to prune the variables hierarchy and the mean tests applied along the units segmentation.

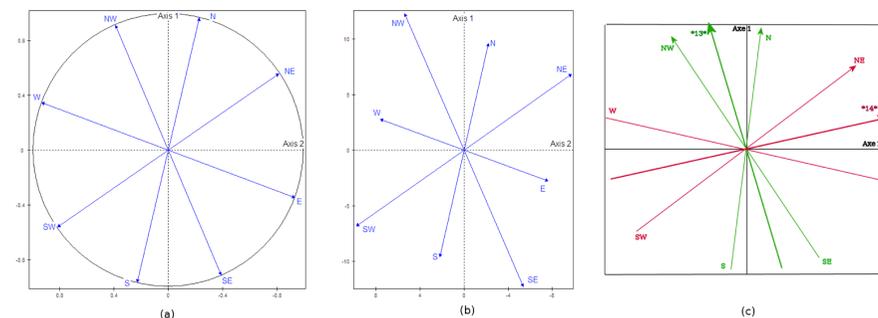
ISODATA

ISODATA [2] 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. It is an iterative reallocation clustering method, analogous to K-means [15] commonly used for both satellite image [16,17]. and land units classification [18,19,20]. Both methods start by either fixing centroids or assigning units to classes at random, then iteratively reallocate the units to the class to which centroid are closest, this way minimizing the within class inertia. Unlike K-means, whose number of classes must be a priori fixed, ISODATA can both merge and split classes, within a pre-fixed interval, according to whether either two classes are closer to each other or a class inertia is higher than a pre-fixed threshold.

The algorithm performs as follows [21]:

1. some classes centroids are randomly chosen
2. the units are assigned to the class to which centroid are closer
3. the classes with too few units are deleted and the corresponding units are assigned to other centroids
4. all centroids are recalculated, together with both within class inertia and distances among centroids
5. if some classes have too large class inertia, they are split
6. if some classes are too close to each other, they are merged
7. the steps 2) to 6) are iterated until convergence.

Figure 5 - The eight morphological gradients on the first principal plane of (a) PCA on correlation; (b) PCA on covariance; and (c) HFC with the variables representative of the largest two groups (*13* and *14*).



As ISODATA depends upon an important number of parameters, as the tentative number of classes, the thresholds for the number of units in a class, the interclass distance, or the within class variance, its use is not most easy for a non-experienced user. We used ISODATA as implemented in the ENVI [22] package, using parameters chosen according to previous applications [1].

COMPARISON OF THE RESULTS

As our aim is to build thematic maps to be compared, we had to associate the classes of the four partitions, in order to use the same colour for the classes of the different partitions with analogous structure. For this task, we referred to the dendrogram issued by Tandem Analysis applied to the classification data, in which the classification was run considering the gradients' coordinates along the complete set of factors. Then, we based on the RGB colours attributed automatically by ENVI program to the classes of the partition issued from the tandem analysis on correlation. As we referred to this partition, the same colour of a class of this one was attributed to all classes belonging to the same branch of the dendrogram. A proportional variation of RGB values was adopted to distinguish among two or more classes of a partition, should they correspond to the same class of the reference one.

RESULTS

The data table shows a very different pattern of mean and variance of the eight gradients, with high agreement among each pair of opposite directions. Indeed, apart from N and S, whose mean gradients are $-.11$ and $.11$ respectively, those along the other directions are higher, ranging from 1.01 and 1.22 , with the plus sign from SW to NW and the minus opposite to it. The variances are lower for N-S and E-W (9.92 and 8.16 respectively) and higher for NW-SE and NE-SW (13.56 and 12.03): thus along these directions a larger variance of the gradients results, in agreement with the orientation of the volcanic complex. As well, the correlation within the four pair of opposite directions is quite high ($-.98$ through $-.96$), meaning a very low quantity of summits, pits, and saddle points.

We decided a priori an interval in which the suitable number of classes should fall. Considering that we had 8 main local gradient directions, we thought necessary enough classes to fit at least two possible relief settings along each direction, with some more for some directions with larger variance of the gradients. Indeed, as it will be shown in

the following, a larger variation will be found along two main orthogonal directions: NW-SE and NE-SW. As a result, we considered suitable partitions ranging 18-24 classes. Within this interval, for each method the chosen partition was selected either automatically by the method itself or based on the variation of the within inertia.

TANDEM ANALYSIS ON CORRELATION

Thanks to its rationale, the Tandem analysis provides us information about the data structure. Indeed, from PCA it is evident the two-dimensional structure of the data, as the first two principal components summarize 98.50% of total inertia (54.97 and 43.53% respectively). The circle of correlation (Figure 5a) shows that the first axis is situated in direction NNW-SSE and the second in direction ENE-WSW. Thus, for the hierarchical classification, only two principal components will be taken into account, resulting in a suitable partition in 20 classes.

TANDEM ANALYSIS ON COVARIANCE

The PCA run on the covariance matrix gives results much alike the previous, only with a different partitioning of explained inertia (98.38), this time 60.39 vs. 37.99% between the first two principal components. As the variances of the gradients are not equal, in the representation of the gradients on the first factor plane (Figure 5b) they show a very different length, but keep an orientation very similar to the one of the previous analysis. This time the suitable partition results in 22 classes.

HIERARCHICAL FACTOR CLASSIFICATION

As said, this classification is based on a series of two-variables PCAs, so that it was expected to find a two-dimensional solution, with 4 classes of units as associated segmentation. In Figure 5c the factor plane associated to the last node is shown, in which the gradients are represented, in two different colours according to which group they belong of the two merging at the last node. Together with them, the representative variables of the two merging groups are represented.

Based on this 2-dimensional representation, only four classes of pixels would result. Thus, to get a number of classes comparable with that of the other methods, we had to force the method to take into account other three more directions. For this reason, the resulting 22 classes partition is not the most optimized one according to the method's parameters.

ISODATA

The application of ISODATA, performed between 16 and 24 classes, 25 iterations, and 2% as percentage of change threshold, resulted in a partition in 20 classes.

COMPARISON OF THE CLASSIFICATIONS

The Tandem Analysis of the four partitions provided us with a dendrogram in which the classes of the Tandem analysis on correlation were well separated, so that we decided to take this one as a reference for comparing the other method's partitions. Thus, we adopted the colours automatically given by the ENVI program to the reference partition and we coloured alike the classes of the other partitions that belonged to the same dendrogram's branch. Should two or three classes of the same partition belong to the same cluster, in order to distinguish among them, they were coloured with a slight proportional variation of the same colours.

DISCUSSION

The partition built by Tandem analysis on the correlation matrix has a class structure reported in Table 1. Here, in the first column is reported the sequential number of the class, the percentage of pixels that belong to the class, the surface covered by the class in sq.km, and the colour given in the map. In the second column, a morphological interpretation of the class is given; in the third column, the average elevation, slope and aspect are reported in stack. It must be observed that in four classes, the 1, 2, 18, and 19, the standard deviation of the aspect was particularly large: for this reason it is reported, in red, in the table. In the fourth column the average of the eight gradients is reported with respect to the central pixel, in blue the positive gradients (indicating a descent in that direction) and in red the negative ones (indicating an ascent). The arrow in the centre of the gradients points to the largest descending slope.

The first two classes contain the areas quite flat, although with opposite slope orientation (SW vs. NE): all together they represent almost one fourth of the entire data set. On the opposite, classes 6 and 9, even though little represented (less than 4% together), correspond to the steepest areas (mean slope angle of 51° and 48°) with orientation respectively toward SE-S and S-SW. Classes 3 and 4 area are similarly oriented toward E-SE with slight differences in slope angles. Classes 5 and 7 exhibit a morphological setting similar to the much steeper class 6, oriented to SE-S. As well, class 10 mimics the steeper class 9 with orientation to SW. Classes 11, 16 and 17 show a relief setting quite

different from other classes and respective orientation toward S-SW, NE and N-NE. Classes 12, 14 and 15 have quite similar morphology (northwest oriented) even though with different slope angle. Classes 18 and 20 reflect quite similar steep sloping areas with orientation to North. Peculiar appear classes 8, 13 and 19 that exhibit very alike gradient values along opposite sides of the kernel, defining respectively orientations toward S, W and N.

The four maps issued by the four partitions and the consequent colouring are represented in Figures 6 and 7. They are easily comparable, since the colours were given coherently according to the association among classes given by the comparison dendrogram. We do not report here the class structures of the other three partitions, but we may say that some significant differences resulted by the different methods, in respect to the reference partition. We may say in particular that the method HFC separated more than the reference one classes with very low slopes, whereas ISODATA separated more classes with high slopes. We could interpret this behaviour.

The aim of Tandem analysis is to partition the data according to uncorrelated factors, so that the resulting distances are not affected by the correlation structure among the original variables. Actually, the package that we used, SPAD, provides coordinates whose inertia along the principal axes equals the eigenvalue, so that the distances on each axis weight according to it. This is not really important in our case, since in Tandem analysis on correlation the two first eigenvalues do not differ very much, so that the classes are sufficiently balanced. This is not exactly the case for the partition on covariance, in which the mayor gradients weight less than the intermediate, but it is very different for the other two methods.

Table 1. Classes obtained by processing the topographic gradients of the volcanic complex of Azufre-Planchon-Peteroa on the basis of Tandem Analysis on correlation matrix. Each class, of which the covered surface is pointed out, is provided with a morphologic interpretation and the mean values of both main landform attributes and topographic gradients with respect to the central pixel of a 3x3 kernel (shown as Red for negatives and as Blue for positives). For classes 1, 2, 18, and 19 close to the aspect mean value its standard deviation is reported as particularly high.

| GEOMORPHOMETRIC CLASSES | RELIEF INTERPRETATION | MEAN ELEVATION/ SLOPE/ASPECT | TOPOGRAPHIC GRADIENTS (m) | | |
|---|--------------------------------------|-----------------------------------|---------------------------|-------------------------|-------------------------|
| 1 (13.77% -> 55.5 Km ²)  | Quite flat areas slightly facing SW | 2574.7 m 6.9° 209.3°/57.2 | -0.35 +1.26 +2.79 | -1.62 -1.30 +1.55 | -2.91 -1.30 +0.26 |
| 2 (9.26% -> 37.3 Km ²)  | Quite gently sloping areas facing NE | 2590.7 m 8.5° 88.5°/99.8 | -0.07 -2.08 -4.13 | +2.00 -2.05 -2.05 | +3.98 +2.02 -0.01 |
| 3 (7.64% -> 30.8 Km ²)  | Gently sloping areas facing SE-E | 2881.2 m 16.6° 114.2° | -8.96 -6.51 -4.00 | -2.42 -2.42 +2.46 | +4.09 +6.48 +8.88 |
| 4 (2.57% -> 10.4 Km ²)  | Steep sloping areas facing E | 2733.3 m 35.4° 97.7° | -19.4 -17.6 -15.3 | -1.91 -1.91 +2.19 | +15.5 +17.5 +19.6 |
| 5 (4.44% -> 17.9 Km ²)  | Steep sloping areas facing SE | 2655.5 m 34.8° 142.0° | -22.1 -10.8 +0.72 | -11.4 -11.4 +11.4 | -0.59 +10.8 +22.0 |
| 6 (1.34% -> 5.4 Km ²)  | Very steep sloping areas facing SE-S | 2533.6 m 51.0° 161.2° | -34.6 -9.97 +15.0 | -24.8 -24.8 +24.8 | -14.4 +10.2 +34.5 |
| 7 (6.34% -> 25.6 Km ²)  | Gently sloping areas facing S | 2755.2 m 21.9° 173.0° | -9.46 -1.24 +6.96 | -8.20 -8.20 +9.37 | -6.87 +1.27 +9.36 |
| 8 (3.58% -> 14.4 Km ²)  | Averagely sloping areas facing S | 2571.2 m 38.4° 180.5° | -16.3 +0.16 +16.4 | -16.5 -16.5 +16.2 | -16.6 -0.11 +16.2 |
| 9 (2.07% -> 8.3 Km ²)  | Very steep sloping areas facing SW-S | 2358.2 m 48.7° 198.5° | -13.7 +9.21 +31.9 | -23.0 -23.0 +23.0 | -31.9 -9.05 +14.1 |
| 10 (5.61% -> 22.6 Km ²)  | Averagely sloping areas facing SW | 2550.7 m 25.7° 214.6° | -1.61 +6.65 +14.8 | -8.33 -8.33 +8.23 | -15.0 -6.62 +1.70 |
| 11 (2.28% -> 9.2 Km ²)  | Steep sloping areas facing SW-W | 2501.8 m 38.8° 234.3° | +6.54 +16.2 +25.9 | -9.73 -9.73 +9.95 | -25.9 -16.2 -6.11 |
| 12 (9.14% -> 36.9 Km ²)  | Averagely sloping areas facing NW | 2589.2 m 17.3° 314.5° | +9.70 +5.22 +0.70 | +4.51 -4.51 -4.55 | -0.74 -5.25 -9.81 |
| 13 (7.07% -> 28.57 Km ²)  | Gently sloping areas facing W | 2641.8m 21.7° 270.0° | +9.83 9.71 +9.55 | +0.15 -0.15 -0.11 | -9.60 -9.77 -9.84 |
| 14 (2.57% -> 10.4 Km ²)  | Steep sloping areas facing W-NW | 2672.8 m 37.2° 285.6° | +22.5 +18.3 +14.1 | +4.40 -4.40 -4.21 | -13.8 -18.4 -22.5 |
| 15 (3.74% -> 15.1 Km ²)  | Steep sloping areas facing NW | 2598.9 m 36.5° 316.7° | +24.1 +12.8 +1.45 | +1.15 -1.15 -11.4 | -1.21 -12.8 -24.2 |
| 16 (4.75% -> 19.1 Km ²)  | Averagely sloping areas facing NE | 2799.9 m 23.2° 51.4° | -2.54 -8.13 -13.6 | +5.52 -5.52 -5.45 | +13.5 +8.12 +2.72 |
| 17 (2.18% -> 8.8 Km ²)  | Steep sloping areas facing NE-N | 2662.7 m 41.6° 25.7° | +7.18 -9.64 -26.2 | +16.7 -16.7 -16.6 | +26.1 +9.76 -6.78 |
| 18 (2.42% -> 9.8 Km ²)  | Steep sloping areas facing N | 2658.0 m 47.8° 242.6°/161.3 | +25.5 +2.37 -20.8 | +23.2 -23.2 -23.2 | +20.8 -2.26 -25.3 |
| 19 (5.10% -> 20.6 Km ²)  | Gently sloping areas facing N | 2566.1 m 26.7° 173.9°/171.0 | +10.0 -0.37 -10.8 | +10.4 -10.4 -10.4 | +10.7 +0.42 -9.98 |
| 20 (4.12% -> 16.6 Km ²)  | Steep sloping areas facing NW-N | 2572.4 m 36.6° 339.1° | +21.2 +6.70 -7.81 | +14.6 -14.6 -14.6 | +7.97 -6.62 -21.2 |

Figure 6 - Classification map of the volcanic complex of Azufre-Planchon-Peteroa area, issued from PCA on correlation matrix (above) and on covariance matrix (below).

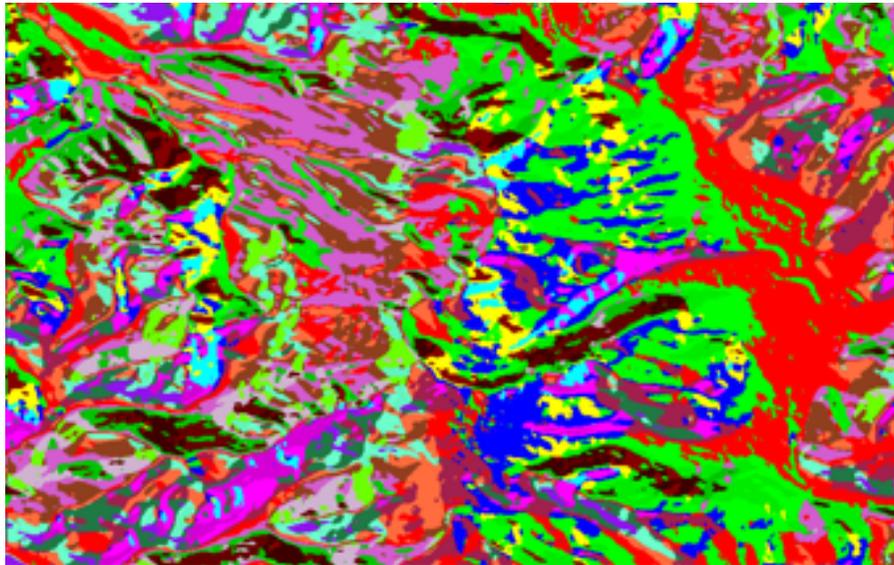
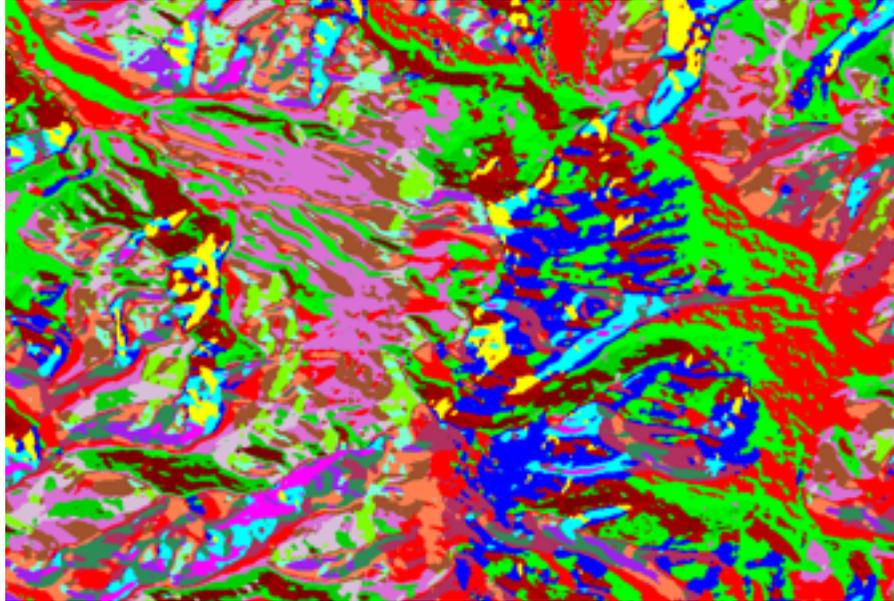
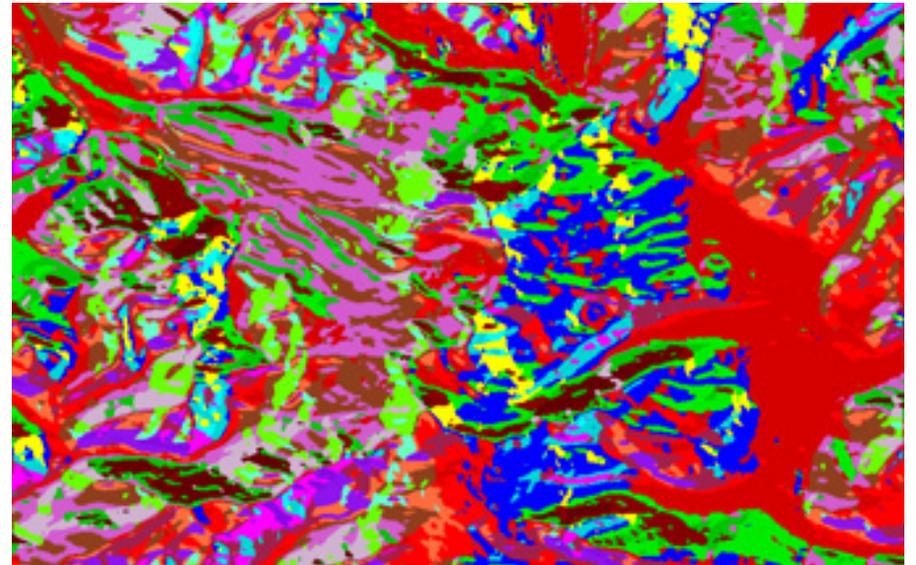
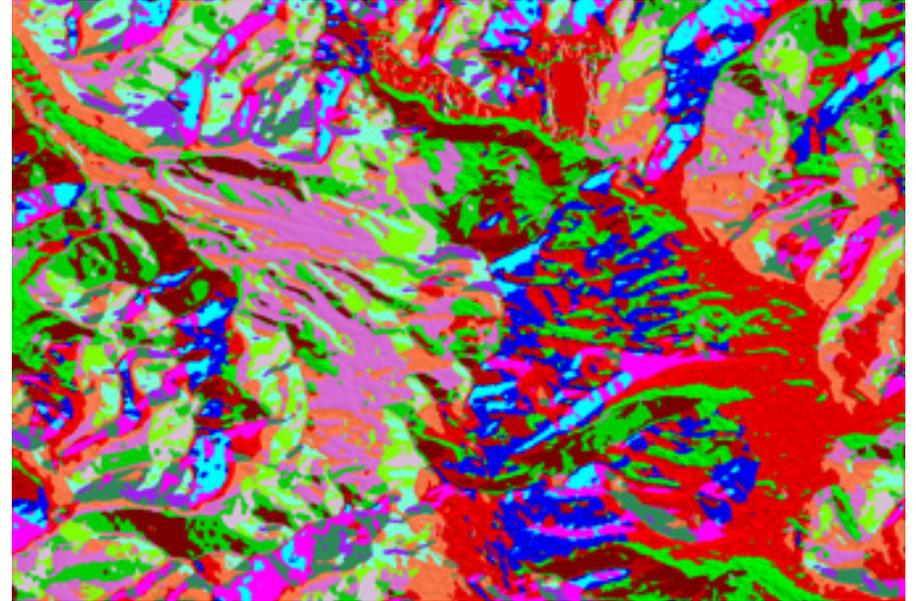


Figure 7 - Classification map of the volcanic complex of Azufre-Planchon-Peteroa area, issued from HFA (above) and ISODATA (below).



The HFC procedure works with standardized data, so that all gradients are at the beginning equally weighed and the results should be similar to those of the reference method. Instead, the fact that we ought to force the method to take into account other dimensions introduced coordinates corresponding to factors with very little inertia, say those that distinguished very low slopes, thus giving more classes corresponding to only one or two of low slopes of the reference partition. On the opposite, the ISODATA method takes into account the original gradients as they are, so that the high slopes result more important in respect to the low ones, as they weigh more on more dimensions, that are equally weighed by the method. For this reason, ISODATA distinguishes more among classes with high slopes than the reference.

CONCLUSION

Digital terrain analysis (or geomorphometry) for building thematic maps describing morphological setting relies usually on neighbourhood operations which calculate morphometric variables such as slope, aspect, local relief or surface roughness (among many others) at different scales. Conversely, the approach reported in [1] and in this paper takes into account the topographic gradients, always calculated by working on moving-windows, that provide a simple and, in the meanwhile, exhaustive depiction of local relief. This allows to apply more confidently classification methods such as the ones applied in this paper to issue digital maps of uniform terrain units distribution. The comparison of the four clustering procedures on the Peteroa volcano complex gave nice representations of the area, in which no very high differences resulted, unless a more equilibrate behaviour of the Tandem analysis (in particular based on correlation) than the others and its ability to give an interesting reduction of dimensions, together with the interpretability of the factor planes.

We do not consider the study achieved, since other clustering methods may be tested as well as their concurrent use. As well, we think that the choice of the colours in this case deserves a specific investigation. It is evident that a better appropriate choice of the colours could lead to a much better comprehension in the identification of the landforms on the maps.

Thus, these will be the further steps of our investigation.

ACKNOWLEDGEMENTS

This paper was developed in the context of the cooperation of the first author as associated with the Istituto di Acustica e Sensoristica O.M. Corbino of the Italian C.N.R.. He was also granted by the Faculty of Architettura of belonging and for the participation to the E-ICES 6 symposium by the Scientific Attaché of the Italian Embassy in Buenos Aires. These institutions are gratefully acknowledged.

REFERENCES

- [1] M. Poscolieri, 2010. Geomorphometry as a value added to land analysis, Proceedings of the E-ICES 5 Conference, Malargüe (Arg), 24-27 November 2009, 236-244.
- [2] D. Hall, G. Ball, 1965. Isodata: a novel method of data analysis and pattern classification. Technical report, Stanford Research Institute (California, USA).
- [3] R.J. Pike, 2002. A bibliography of terrain modelling (geomorphometry), the quantitative representation of topography. U.S. Geological Survey, Open-File Report 02-465.
- [4] D.R. Tormey, F.A. Frey, and L. Lopez Escobar, 1989. Geologic history of the active Azufre-Planchon-Peteroa volcanic center (35° 15' S, Southern Andes) with implications for the development of compositional gaps, *Revista de la Asociacion Geologica Argentina*, 44(1-4), 420-430.
- [5] D.R. Tormey, F.A. Frey, and L. López-Escobar, 1995. Geochemistry of the active Azufre-Planchón-Peteroa volcanic complex, Chile (35°15'S): evidence for multiple sources and processes in a cordilleran arc magmatic system, *Journal of Petrology*, 36(2), 265-298.
- [6] M.J. Haller, J.E. Mendia, and H.A. Oстера, 1991. Mapa preliminar de riesgo en la vertiente argentina del Volcan Peteroa. 10th Geological Conference of Chile, 355-358.
- [7] P. Arabie, L. Hubert, 1994. Cluster analysis in marketing research, in R. J. Bagozzi (Ed.) *Advanced methods of marketing research*, London, Blackwell, 160-189.
- [8] S. Camiz, 2001. *Exploratory 2- and 3-way Data Analysis and Applications*, Lecture Notes of TICMI, Tbilisi University Press, 2.
- [9] L. Lebart, A. Morineau, and N. Tabard, 1977. *Techniques de la description statistique*. Paris, Dunod.
- [10] A. Bellacicco, A. Labella,, 1979. *Le Strutture Matematiche dei Dati*. Milano, Feltrinelli.
- [11] L. Lebart, A. Morineau, T. Lambert, and P. Pleuvret, 1999. *SPAD – Système Pour l'Analyse des Données*. Paris, Cisia-Ceresta.

- [12] L. Lebart, A. Morineau, and M. Piron, 1995. *Statistique Exploratoire Multidimensionnelle*, 2nd edition. Paris, Dunod.
- [13] A.D. Gordon, 1999. *Classification*. London, Chapman and Hall.
- [14] J.H. Ward, 1963. Hierarchical Grouping to optimize an objective function. *Journal of American Statistical Association*, 58(301): 236-244.
- [15] J.B. MacQueen, 1967. Some Methods for classification and Analysis of Multivariate Observations. *Proceedings of 5-th Berkeley Symposium on Mathematical Statistics and Probability*, Berkeley, University of California Press, 1, 281-297
- [16] P.J. Gibson, C.H. Power, 2000. *Introduction to Remote Sensing: Digital Image Processing and Applications*. London, Taylor and Francis.
- [17] J.B. Campbell, 2006. *Introduction to Remote Sensing*. London, Taylor and Francis.
- [18] B.J. Irvin, S.J. Ventura, and B.K. Slater, 1997. Fuzzy and isodata classification of landform elements from digital terrain data in Pleasant Valley, Wisconsin. *Geoderma*, 77, 137-154.
- [19] O.A. Adediran, I. Parcharidis, M. Poscolieri, and K. Pavlopoulos, 2004. Computer-assisted discrimination of morphological units on north-central Crete (Greece), by applying multivariate statistics to local relief gradients. *Geomorphology*, 58, 357– 370.
- [20] A. van Niekerk, 2010. A comparison of land unit delineation techniques for land evaluation in the Western Cape, South Africa. *Land Use Policy*, 27, 937-945.
- [21] R. Wang, 2009. The ISODATA Algorithm, <http://fourier.eng.hmc.edu/e161/lectures/classification/node13.html>
- [22] ENVI, 2009. *ENVI User's Guide – version 4.7 - ITT Visual Information Solution*.
- [23] J.J. Denimal, 2001. Hierarchical Factorial Analysis. *Proceedings of the 10th International Symposium on Applied Stochastic Models and Data Analysis*. Compiègne, France.
- [24] S. Camiz, J.J. Denimal, and V.D. Pillar, 2006. Hierarchical Factor Classification of Variables in Ecology. *Community Ecology*, 7(2), 165-179.
- [25] J.J. Denimal, 2007. Classification factorielle optimisée d'un tableau de mesures. *Journal de la Société Française de Statistique et Revue de Statistique Appliquée*, 148(2), 29-64.

Evolutionary analysis applied to tree-ring series

ABSTRACT

We explore the behaviour of synchronous tree-ring time-series by the simultaneous use of Principal Component Analysis (PCA), Hierarchical Factor Classification and Evolutionary PCA performed on a mobile window. Results are discussed in terms of the temporal evolution of the correlation structure of the time-series and the recognition of intervals with particular homogeneity between series.

INTRODUCTION

In a previous paper [1], exploratory analysis methods were applied to a dataset of tree-ring width synchronous series to ascertain to what extent the methods could enlighten on the structure of the data, in view to recognize how similar are the tree-ring growth series. In particular, the Evolutionary Principal Component Analysis (EPCA) was proposed as a useful method to describe the variation of the correlation structure of the series through time.

In this paper, an analogous methodology is proposed to study a dataset composed of tree-rings synchronous chronologies of *Araucaria araucana* on the Argentinian Andes ([2]; Hadad, unpublished). We aim at recognizing the existence of important variations in the correlation structure of the chronologies.

Here, we use both Principal Component Analysis (PCA) and Hierarchical Factor Classification (HFC) to give an overall overview of the data structure, and we applied a EPCA methodology to identify the pattern of the correlation structure through time. This allows the identification of both the time-intervals in which the structure keeps more homogeneous and those periods where mayor changes in the correlation structure between series occurs.

S. Camiz (1),

F.A. Roig (2).

¹ Dipartimento di Matematica Guido Castelnuovo, Sapienza Università di Roma - Italy

² IANIGLA, CRICYT y Fac. de Cs. Agrarias de la Universidad de Cuyo - Mendoza - Argentina

e-mail: sergio.camiz@uniroma1.it

THE DATA

We used a dataset composed by nine tree-rings chronologies of *Araucaria araucana* growing on the oriental slopes of the Andes cordillera in the Neuquén province and originally published by [2]. We considered a common period of 492 years, between 1483 and 1974.

METHODS

Exploratory data analysis

As quoted in [1], we set as an exploratory framework [3,4], a quantitative study [5,6] based on cognitive analytical methods. This approach helps in the formulation of hypotheses of data structure that could be 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 when implementing the following investigations. We start the analysis with a classical exploratory procedure, the Tandem Analysis [7,8], implemented in SPAD package [9]. The method has been criticized by Arabie and Hubert [10] among others, since such a procedure may not detect the true classes of a "naturally" existing partition in the first principal components, but it is broadly used in exploratory context, where partitions based on a selected number of factors help to identify classes of units homogeneous in respect with the factors, thus synthesizing the data structure [11]. In particular, we used a Tandem Analysis based on Principal Component Analysis (PCA, [11]), a technique traditionally used in tree-ring analysis [12], and Hierarchical Ascendant Classification (HAC, [11,13]). PCA was applied to the data set with the years by row and the series by column, as suggested by [14], so that the classification concerning the units gave us groups of years, characterized by a specific homogeneous tree-growth.

As the orthogonal factors resulting from PCA, are linear combinations of the original series, they may be adopted as representative series, that is, artificial series that can represent what the series have in common. For this reason, the first principal component may be considered the series containing the larger common variability of the used dataset.

The Hierarchical Factor Classification (HFC, [15,16]) is a classification method specifically designed for a hierarchical classification of variables. The hierarchical process is based on a series of PCAs that associate at every node of the hierarchy two principal components, so that each node is provided with a principal plane of representation where the first principal component represents what the group of variables that form the node have in common and the second what distinguish them. As this technique is close to PCA, its results may be seen also on PCA's principal planes, giving information on the relations between principal components of PCA and representative variables of HFC.

To achieve the exploratory procedure, we ran an Evolutionary PCA (EPCA, [1]), consisting in a time-series of PCAs run on a mobile window along the set of the time-series. The graphical representation of the eigenvalue pattern and the correlations between the main principal components and the original chronologies allows us to identify the change in the correlation structure of the chronologies through time.

Principal Component Analysis

PCA [17,11,18,19] is a broadly known method of data analysis: 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.

Hierarchical Ascendent Classification

Unlike the clustering techniques based on reallocation of units in a given number of classes, HAC [17,11,13,19] provides a dendrogram that represents the similarity between objects in a graph structure. This way, even if it may not be optimal, the partitioning is obtained by choosing a posteriori cut-points of the hierarchy, according to its structure, so that the number of classes of the partitions depends upon this structure and not on a free choice of the user.

The many HAC methods differ according to the way the similarity is computed, how the similarity among built groups is iteratively re-computed, and on the way the partitioning is performed. For our work, we computed the similarity between years through Euclidean distances on the selected PCA principal space. We chose to aggregate the classes according to the Ward's [20] criterion, that at each step merges the pair of groups that minimize the inevitable raise of the pooled within-groups inertia: as this is a measure of homogeneity, the used criterion ensures to build highly compact classes. We obtained a partition by cutting the hierarchy where a larger interval among subsequent levels occurred. Eventually, we characterized the classes according to the comparison of the classes mean values of the chronologies with the pooled ones: if for a chronology a class mean resulted statistically different at 5% level, according to a Student's t statistics, then the difference was considered characteristic of the class.

Hierarchical Factor Classification

The Hierarchical Factorial Classification of variables (in the following HFC) was first proposed by Denimal ([15], see also [16]) for continuous variables. The method defines a hierarchy on the set of variables and provides a factor plane associated to each hierarchy node, in which the first principal component acts as representative variable of all variables that belong to the node, thus as a synthesis of them. The procedure starts with the standardized original characters, that form each one a singleton group, so that the variable may be considered representative of this same group. Then, the iterated procedure for the construction of the hierarchy is the following:

1. a PCA is performed on all pairs of representative variables, considering their covariance.
2. the pair whose second eigenvalue of PCA is lowest is selected.
3. the two groups represented by the chosen pair are merged into a new group, that is a node of the hierarchy.
4. the first principal component of the PCA is taken as representative variable of the new group, since it represents what the two merged groups have in common.
5. the second principal component is taken as node variable, showing the internal differences within the node.
6. the second eigenvalue is taken as the node's hierarchy index.
7. The steps 1) to 6) are repeated until only one group results.

The method gives, at each step, a principal plane on which the variables gathered in the group may be represented: in fact, unlike in PCA, each principal plane results by the

analysis of the representative variables of the groups gathering at the node, thus only the variables that compose these variables may be represented. For the same reason, the units are represented on the same planes, but their representation depends only upon these variables, so that the pattern of units in each node is based only on these same variables.

In HFC the hierarchy's cutting rule may be based on the dimensionality of each class, a fact that is strictly related to the correlation between the aggregating variables. In order to avoid the aggregation of uncorrelated variables in a node, the representative variables of the merging classes might be sufficiently correlated among each other. This may be inspected by checking the second eigenvalue of the corresponding PCA, that represents the variance of the second principal component. If it is larger than 1, this means that the differences among merging variables are larger than an original standardized variable, thus that the class is at least bi-dimensional. On this basis, a thumbnail rule may be to avoid nodes on which the second eigenvalue is larger than 1 but we preferred to cut below 0.7, in agreement with the suggestion of Jolliffe [18] for PCA.

Evolutionary PCA

The method consists in defining a window composed of a limited number of years in respect to the whole table and moving it along the table itself. By moving the windows, we run a set of PCAs limited to the years included in the window. This allows us to build a time-series of PCAs, where each one is obtained from the previous by dropping the first year row and adding the row corresponding to the next year. As two contiguous tables differ by one row only, that is one year, the window dimension identifies the distance between the replaced years and the sensitivity of the method: indeed, in an n -year window, each row contributes in average to PCA as $1/n$ -th of the total. In this sense, the largest the windows, the least sensitive is the method, but it must be pointed out that an analysis with large windows describes the variation among events (years) very far from each other, thus maybe very different.

It is evident that the examination of a very large amount of PCAs output may be difficult to carry out. For this reason we arranged the main results in time-series to examine them graphically. 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. The inspection of the graphics put in evidence the variations in the eigenstructure.

RESULTS

Principal Component Analysis

The examination of the eigenvalues pattern of PCA of the 9 tree-ring chronologies along the 492-year common period (Table 1) shows a main first axis, whose eigenvalue (worth 3.98) summarizes 44.24% of total inertia. The following three (ranging 1.02 through 0.85) raise the total inertia to 75.06%. Indeed, the correlations of the chronologies among themselves are all significant at 0.1% level with values between 0.61 and 0.15 (Table 1). The correlations of the chronologies with the first axis range from 0.65 to 0.79. Only two chronologies show lower values ranging between 0.50 to 0.45 (Table 2). On the second axis, two groups of chronologies appear to be opposed, with medium-low correlations with this axis (Figure 1 Left). On the plane spanned by axes three and four (Figure 1 Right), the individual variations of Pino Hachado and Lonco Luan is put in evidence, as well as those of the others.

Figure 1. The nine chronologies on the correlation circle of Principal Component Analysis: Left = projection on the principal plane spanned by the axes 1-2. Right = projection on the plane spanned by the axes 3-4.

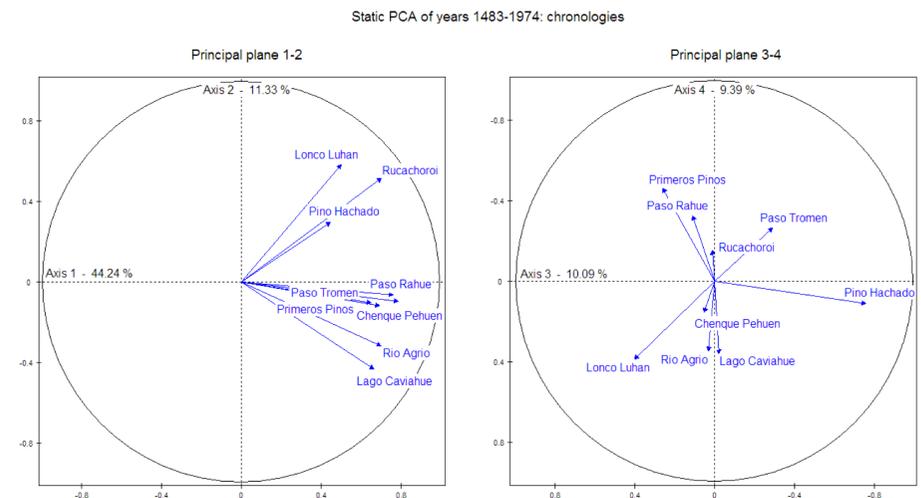


Table 1. Correlation matrix of the chronologies. Eigenvalues of the static PCA of the chronologies matrix with percentage and cumulate percentage of explained inertia. All correlations are significant at 0.1% level.

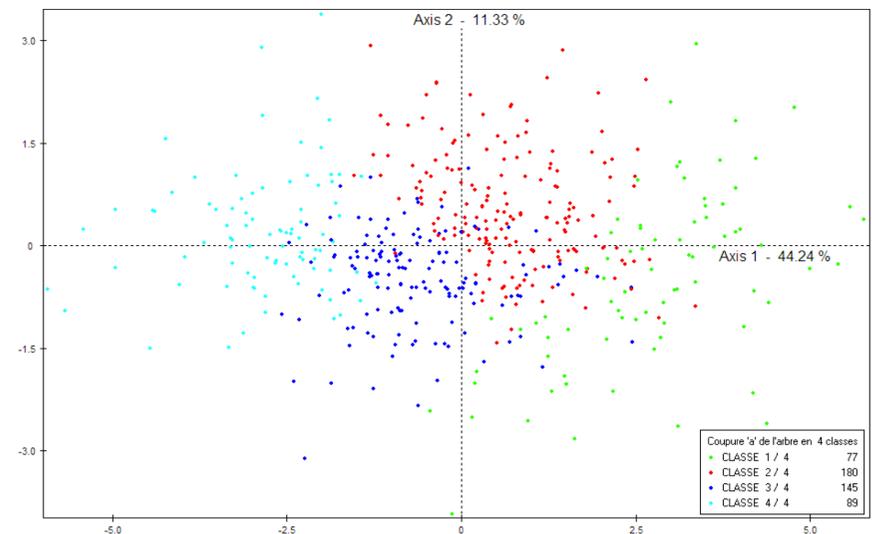
| Correlation matrix | ChPe | Cavi | LoLu | PaTr | PAch | PPin | Rahu | RiAg | Ruca |
|--------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Chenque Pehuen | 1.00 | | | | | | | | |
| Lago Caviahue | 0.52 | 1.00 | | | | | | | |
| Lonco Luan | 0.33 | 0.22 | 1.00 | | | | | | |
| Paso Tromen | 0.37 | 0.36 | 0.15 | 1.00 | | | | | |
| Pino Hachado | 0.30 | 0.22 | 0.15 | 0.28 | 1.00 | | | | |
| Primeros Pinos | 0.49 | 0.32 | 0.22 | 0.38 | 0.15 | 1.00 | | | |
| Paso Rahue | 0.51 | 0.47 | 0.29 | 0.43 | 0.26 | 0.61 | 1.00 | | |
| Rio Agrio | 0.55 | 0.54 | 0.29 | 0.43 | 0.22 | 0.41 | 0.37 | 1.00 | |
| Rucachoroi | 0.48 | 0.24 | 0.48 | 0.45 | 0.34 | 0.43 | 0.47 | 0.31 | 1.00 |

| Number | Eigenvalue | Percentage | Cumulate | Trace = 9. |
|--------|------------|------------|----------|------------|
| 1 | 3.9814 | 44.24 | 44.24 | ***** |
| 2 | 1.0199 | 11.33 | 55.57 | ***** |
| 3 | 0.9084 | 10.09 | 65.66 | ***** |
| 4 | 0.8455 | 9.39 | 75.06 | ***** |
| 5 | 0.6546 | 7.27 | 82.33 | ***** |
| 6 | 0.5223 | 5.80 | 88.14 | ***** |
| 7 | 0.4360 | 4.84 | 92.98 | ***** |
| 8 | 0.3239 | 3.60 | 96.58 | ***** |
| 9 | 0.3079 | 3.42 | 100.00 | ***** |

Table 2. Contributions to factors, coordinates (correlations), and cumulate quality of representation of the chronologies on the first four axes of PCA.

| Chronology | Axis 1 | | | Axis 2 | | | Axis 3 | | | Axis 4 | | |
|-----------------------|--------|------|------|--------|-------|------|--------|-------|------|--------|-------|------|
| | Cont | Coor | Qual | Cont | Coor | Qual | Cont | Coor | Qual | Cont | Coor | Qual |
| Chen - Chenque Pehuen | 0.39 | 0.79 | 0.79 | -0.09 | -0.10 | 0.80 | -0.06 | -0.06 | 0.80 | -0.17 | -0.15 | 0.81 |
| LCav - Lago Caviahue | 0.33 | 0.67 | 0.67 | -0.43 | -0.43 | 0.80 | 0.02 | 0.02 | 0.80 | -0.39 | -0.36 | 0.87 |
| Lonc - Lonco Luhan | 0.25 | 0.50 | 0.50 | 0.58 | 0.58 | 0.77 | -0.42 | -0.40 | 0.86 | -0.42 | -0.39 | 0.95 |
| PTro - Paso Tromen | 0.33 | 0.65 | 0.65 | -0.10 | -0.10 | 0.66 | 0.30 | 0.29 | 0.72 | 0.29 | 0.26 | 0.76 |
| Pino - Pino Hachado | 0.22 | 0.45 | 0.45 | 0.30 | 0.30 | 0.54 | 0.80 | 0.76 | 0.93 | -0.12 | -0.11 | 0.94 |
| PPin - Primeros Pinos | 0.35 | 0.70 | 0.70 | -0.12 | -0.12 | 0.71 | -0.27 | -0.26 | 0.76 | 0.50 | 0.46 | 0.89 |
| PRah - Paso Rahue | 0.38 | 0.76 | 0.76 | -0.06 | -0.06 | 0.76 | -0.12 | -0.11 | 0.77 | 0.35 | 0.33 | 0.84 |
| RAgr - Rio Agrio | 0.35 | 0.70 | 0.70 | -0.32 | -0.32 | 0.77 | -0.03 | -0.03 | 0.77 | -0.38 | -0.35 | 0.85 |
| Ruca - Rucachoroi | 0.35 | 0.70 | 0.70 | 0.51 | 0.51 | 0.87 | -0.01 | -0.01 | 0.87 | 0.17 | 0.15 | 0.88 |

Figure 2. The distribution of years on the first PCA plane of chronologies, coloured according to the 4-groups partition.



Classification of the years

The classification of years is interesting since, unlike the simple distinction between smallest and largest rings, some distinction among the chronologies behavior may result. This classification was performed according to the partition in four classes resulted by cutting the hierarchy built by the HAC. The pattern is shown in Figure 2 on the plane spanned by the first two principal axes of PCA. The groups 4 and 1 distinguish years for which all chronologies have respectively either smaller or larger values than the mean, whereas the other groups show differences in behavior of the series, albeit limited. The groups 3 and 4 show the same pattern, but limited to only five tree-ring series, corresponding to the sites Pino Hachado, Paso Rahue, Paso Tromen, Lonco Luhan, and Rucachoroi, while the others remain around the pooled average. Primeros Pinos results also characteristic for group 2, since there its mean is significantly higher than the pooled one.

The fact that the said 5 series are characteristic of these two groups indicates a larger significant variation of them than the others and it must be pointed out that these two groups of years are twice larger than the other two. A clear interpretation of this pattern is not really easy, since at a first glance no specific periods belongs completely to any group. Nevertheless, we may detect a slight trend: the XVI century values tend to avoid group 3, the values during the XVII century keep rather homogeneous, the XVIII century values are more concentrated in the central groups (2 and 3), the XIX is more present in groups 2 and, mainly, 4, whereas the XX is present mainly in group 1.

Hierarchical Factorial Classification

The construction of the hierarchy on the chronologies is described in Table 4: according to the chosen criterion, to avoid poorly or uncorrelated series in the same group, we cut the dendrogram in 4 classes, keeping three upper nodes, whose second eigenvalues worth .81 and more. The two eigenvalues of the upper node are worth 3.95 and .97 respectively, thus approaching 3.98 and 1.02, that is the first two eigenvalues of PCA: this indicates an agreement between PCA and HAC.

Table 4. The results of formation of the HFC with the four different sets of chronologies. In the columns: number of the node, number of groups, name of joining groups, number of variables in group, second eigenvalue (hierarchy index, corresponding percentage and cumulate percentage of inertia, first eigenvalue, share of partial inertia along the node's first and second eigenvectors

| Node | Ngroup | N1 | N2 | Nunit | index | %inertia | cumulate% | I eigenvalue | part.in.% | res.par.% |
|--------------------------------------|--------|----|----|-------|----------------|-----------------------|------------------|-------------------|-----------|-----------|
| 10 | 8 | 6 | 7 | 2 | 0.393439323025 | 4.371548 | 4.371548 | 1.606560676975 | 80.328034 | 19.671966 |
| 11 | 7 | 1 | 8 | 2 | 0.454720265067 | 5.052447 | 9.423995 | 1.545279734933 | 77.263987 | 22.736013 |
| 12 | 6 | 11 | 2 | 3 | 0.475172152429 | 5.279691 | 14.703686 | 2.070107582504 | 69.003586 | 30.996414 |
| 13 | 5 | 3 | 9 | 2 | 0.516692924564 | 5.741032 | 20.444719 | 1.483307075436 | 74.165354 | 25.834646 |
| 14 | 4 | 4 | 10 | 3 | 0.654777300280 | 7.275303 | 27.720022 | 1.951783376695 | 65.059446 | 34.940554 |
| 15 | 3 | 12 | 14 | 6 | 0.763925592966 | 8.488062 | 36.208084 | 3.257965366233 | 54.299423 | 45.700577 |
| 16 | 2 | 13 | 5 | 3 | 0.816196243667 | 9.068847 | 45.276931 | 1.667110831768 | 55.570361 | 44.429639 |
| 17 | 1 | 15 | 16 | 9 | 0.974301779068 | 10.825575 | 56.102506 | 3.950774418933 | 43.897494 | 56.102506 |
| Total representative variable | | | | | | 3.950774418933 | 43.897494 | 100.000000 | | |

Evolutionary PCA

The evolutionary PCA was run considering two windows of 25 and 50 years, respectively. This way, the expected average weight of each change, while shifting from a table to the following one, is 4 and 2% respectively. The time series corresponding to the first four eigenvalues are represented in Figure 3. It is evident that the pattern of variation considering the 50-year window (Figure 3 below) is much smoother than the pattern resulted from the 25-year one (Figure 3 above): in particular, the local minima that occur at the years 1530-50, 1612, and 1850 are stronger using the 25-year than the 50-year window. On the opposite, a general trend is more evident in the time-series generated by the 50-year window.

Observing the 50-year window results, three periods are evident: a relatively stable one from 1483 until 1640; then, a positive trend of the first eigenvalue until around 1725, and a third period, in which the trend is lower than before. For the second and third eigenvalues, the pattern is specular relative to that found for the first one. This may correspond to a raise of homogeneity among series along time, as the first eigenvalues fluctuate around 3.5 in the first period and around 5-5.5 in the last one.

Running a Fisher's clustering [21] based on the first eigenvalue, we found three cut-points giving four intervals of highest homogeneity, that is minimum inertia: 1615, 1686, and 1875.

Figure 3. The time series of the first four eigenvalues of the evolutionary PCAs according to a 25-year mobile window (above) and a 50-year one (below).

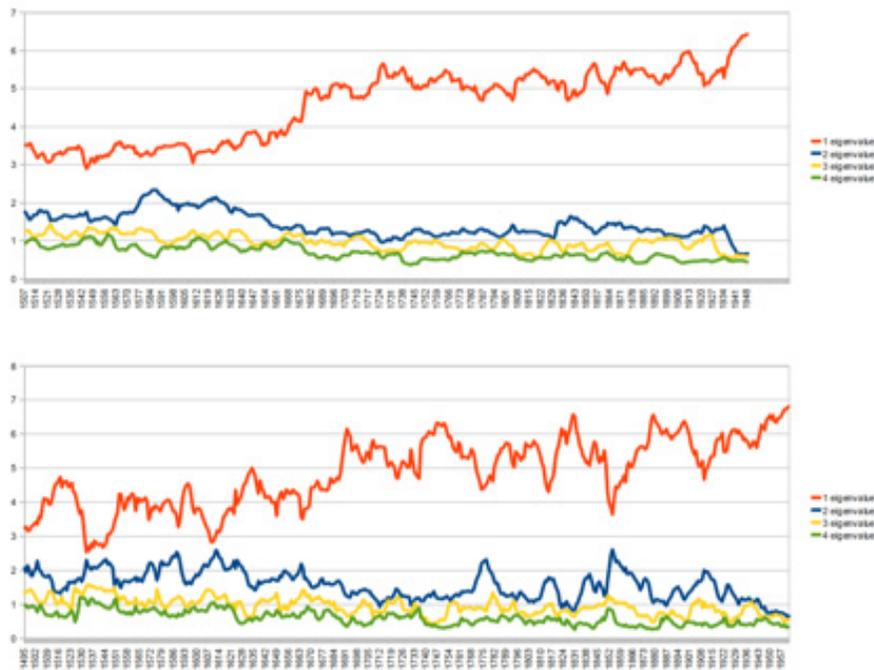


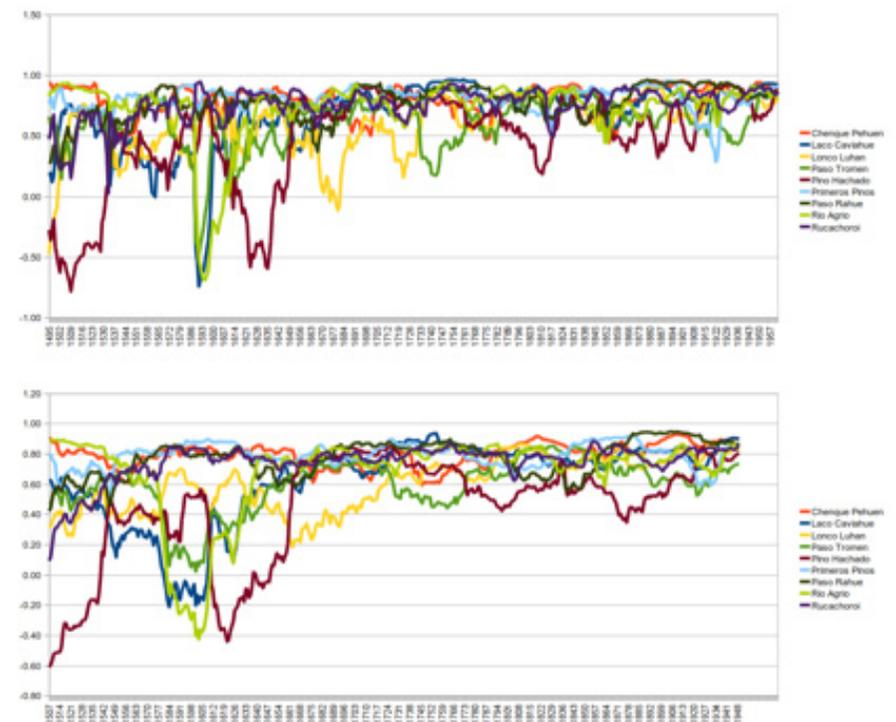
Figure 4 is useful to understand the reason of these variations: here we see the pattern of the correlations of the chronologies with the first principal components corresponding to the 25-year (Figure 4 above) and of the 50-year (Figure 4 below) window EPCA, respectively. Indeed, during the period 1530-1550 the correlation structure seems irregular, even in comparison with the contiguous periods where some series show negative correlation with the first principal component.

Negative correlations occur only for the chronologies Pino Hachado, Lago Cavihue, and Rio Agrio until the year 1650. The subsequent period shows a higher coherence between series, undetected by the eigenvalue pattern, that is not influenced by the correlation sign. This behavior may be explained by differences in the internal quality (replication) of the chronologies.

Four periods PCA

According to the four periods found through the examination of the evolutionary PCA, we ran independent PCAs for the periods 1483-1615 (133 years), 1616-1686 (79 years), 1687-1874 (188 years), and 1875-1974 (100 years). The first two eigenvalues vary, summarizing an increasing total inertia as follows: 1) period) 2.55, 1.49, 45%; 2) 3.64, 1.36, 56%; 3) 4.75, 0.91, 63%; 4) 5.84, 0.89, 75%. A dramatic increase is experienced in both the first eigenvalue and the total explained inertia, while a relative down trend is experienced by the second eigenvalue, particularly during the last two periods. This means that the nine tree-ring chronologies separate at least in two groups at the first two periods, but converge toward a unidimensional structure during the last two.

Figure 4. The time series of correlations of the original chronologies with the first eigenvalues of the evolutionary PCAs according to a 25-years mobile window (above) and a 50-years one (below).



In Figure 5 are represented the nine chronologies on the circle of correlation on the plane spanned by the first two principal components of the PCAs for the four considered periods. It is most evident that in the first two periods, represented in the upper side of the figure, the chronologies are scattered along the second axis, while during the two following periods, a higher agreement among the series appears, suggesting higher homogeneity between the tree-ring chronologies variability.

CONCLUSION

The simultaneous use of Tandem Analysis (in particular of PCA) and HFC facilitates the interpretation of the overall structure of synchronous time-series. In the particular case of tree-ring data, this may suggest to consider, beside of a common source of variation represented by the first principal component of PCA, also the partial chronologies represented by the representative variables of each group of chronologies proposed by HFC.

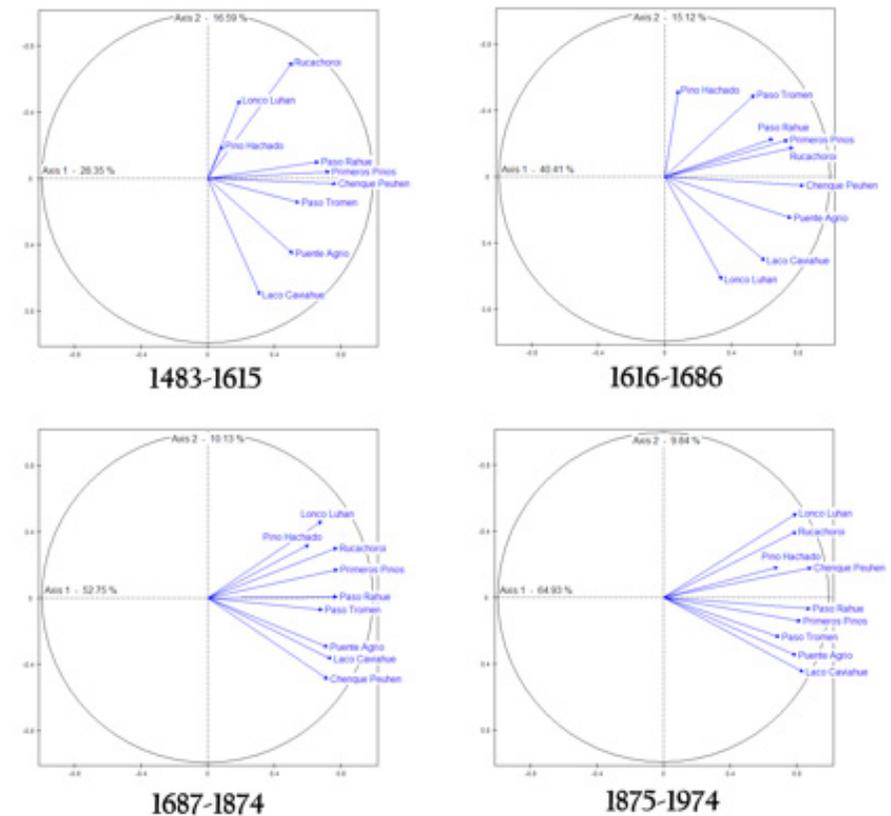
The EPCA analysis revealed to be useful to study the variation of the correlation structure along time. This approach allows to analyze in more detail the existence of time intervals where relations among time-series might be enough different to suggest the occurrence of particular growth histories at each analyzed site. In our case, it is clear that after a first period of larger instability, the structure during the last periods appears to be much more homogeneous. These differences among periods are not so clearly identifiable, unless considering some internal variation barely detectable by the specific PCAs.

An interpretation of these results, based on dendrochronological, ecological, and climatic considerations is currently in progress and far from the scopes of this paper. The link of these results to local-to-regional environmental information may help to explain the present results.

ACKNOWLEDGEMENTS

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 for the years 2003-2010. The first author was also granted by the Faculty of Architecture, whereas its participation to ICES congress was granted by Scientific Attaché Office of the Italian Embassy in Buenos Aires. All granting institutions are gratefully acknowledged.

Figure 6. Representation of the circle of correlation of the PCAs run on the four selected periods.



REFERENCES

- [1] S. Camiz, R. Maulucci, and F.A. Roig, 2010. Exploratory analysis methods applied to dendrochronological series. In: O. Papu ED, Actas E-ICES 5. ICES - Malargüe (Mendoza, Argentina), 24-27 ottobre 2009, MENDOZA: Comisión Nacional de Energía Atómica, 61-67.
- [2] V.C. LaMarche Jr., R.L. Homer, P. Dunwiddie, and L.G. Drew, 1979. Tree Ring Chronologies of the Southern Hemisphere. Chronologies Series V. Vol. 3. Laboratory of Tree-Ring Research, University of Arizona, Tucson.
- [3] S. Camiz, 2001. Exploratory 2- and 3-way Data Analysis and Applications. Lecture Notes of TICMI, Tbilisi University Press, vol. 2. <http://www.emis.de/journals/TICMI/Int/vol2/lecture.htm>.
- [4] S. Camiz, A. Altieri, and F. Manes, 2008. Pollution Bioindicators: Statistical Analysis Of A Case Study. Water Air and Soil Pollution, 194(1-4), 111-139.
- [5] J.W. Tukey, 1977. Exploratory Data Analysis. Reading, Addison-Wesley.
- [6] P.J. Diggle, K.Y. Liang, and S.L. Zieger, 1994. Analysis of Longitudinal Data. Oxford, Clarendon Press.
- [7] L. Lebart, A. Morineau, and N. Tabard, 1977. Techniques de la description statistique. Paris, Dunod.
- [8] A. Bellacicco, A. Labella, 1979. Le Strutture Matematiche dei Dati. Feltrinelli, Milano.
- [9] L. Lebart, A. Morineau, T. Lambert, and P. Pleuvret, 1999. SPAD – Système Pour l'Analyse des Données. Paris, Cisia-Ceresta.
- [10] P. Arabie, L. Hubert, 1994. Cluster analysis in marketing research. In R. J. Bagozzi ED Advanced methods of marketing research, London, Blackwell, 160–189.
- [11] L. Lebart, A. Morineau, and M. Piron, 1995. Statistique exploratoire multidimensionnelle. Paris, Dunod.
- [12] H.C. Fritts, 1976. Tree Rings and Climate. London, Academic Press.
- [13] A.D. Gordon, 1999. Classification. London, Chapman and Hall.
- [14] X. Bry, 1995. Analyses factorielles simples. Paris, Economica.
- [15] J.J. Denimal, 2001. Hierarchical Factorial Analysis. Proceedings of the 10th International Symposium on Applied Stochastic Models and Data Analysis. Compiègne, France.
- [16] S. Camiz, J.J. Denimal, and V.D. Pillar, 2006. Hierarchical Factor Classification of Variables in Ecology. Community Ecology, 7(2), 165-179.
- [17] J.P. Benzécri et coll., 1973-82. L'Analyse des donnees. Paris, Dunod.
- [18] I.T. Jolliffe, 2002. Principal Component Analysis. Springer, Berlin.
- [19] C. Lagrand, L.M. Pinzón, 2009. Análisis De Datos. Métodos y ejemplos. Bogotá, Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito.
- [20] J.H. Ward, 1963. Hierarchical Grouping to optimize an objective function. Journal of American Statistical Association, 58(301), 236-244.
- [21] W.D. Fisher, 1958. On Grouping for Maximum Homogeneity. Journal of the American Statistical Society, 53, 789–798.

Exploratory Analysis of Pacific Data to Study “El Niño”

ABSTRACT

In order to study the “El Niño” phenomenon on the basis of the available data, we started an exploratory analysis of the set of surface temperature time-series produced from the USA's National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA). Some results of Principal Component Analysis and Hierarchical Factor Classification applied on the data set relative to the period 1991-2008 are reported. Together with the regular seasonal fluctuation and the subdivision in 14 classes of the time-series, all spatially connected, the occurrence of El Niño in 2007 results from the data as a very strong perturbation of an otherwise very regular pattern.

INTRODUCTION

“El Niño” and “La Niña” are part of the climate cycle referred to as the El Niño Southern Oscillation (ENSO). During El Niño, warmer than average sea surface temperatures occur in the Equatorial central and eastern Pacific while during La Niña, cooler than average sea surface temperatures predominate. The Southern Oscillation (SO) in ENSO represents the atmospheric component of the cycle in which lower (higher) than normal sea-level pressure occurs near Tahiti and (higher) lower sea-level pressure occurs in Australia during El Niño (La Niña) conditions. ENSO is an important component of the climate system since the El Niño/La Niña phases impact the weather on a global scale. The impact of ENSO sea surface temperatures (SSTs) on the atmosphere is through the tropical response of rain-producing convection and cloud formation, the principal agents for exchanging heat from Earth's surface. Normally, the SST is very warm in an area that covers the Equatorial Indian and West Pacific Ocean regions.

During El Niño, among its consequences are the increased rainfall across most of the Americas' Western belt, ranging from South USA through North of Chile, which has caused destructive flooding, and drought in the West Pacific, sometimes associated

S. Camiz (1),
J.J. Denimal (2),
W. Sosa (3).

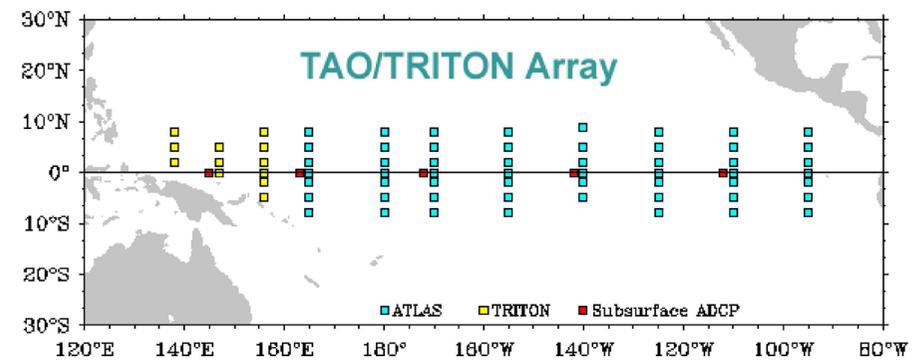
1 Dipartimento di Matematica, Sapienza Università di Roma

2 U.F.R de Mathématiques, Université des Sciences et Technologies de Lille

3 Instituto de Matemática y Ciencias Afines, Universidad Nacional de Ingeniería de Lima
sergio.camiz@uniroma1.it

with devastating brush fires in Australia. Observations of conditions in the Tropical Pacific are considered essential for the prediction of short term (a few months to 1 year) climate variations. The opposite occurs during La Niña, with rainfall deficits in the Eastern Equatorial Pacific and the wet conditions confined to the Western Equatorial Pacific.

Figure 1 - The geographical position of the TAO/TRITON array of buoys implemented by the NOAA.



Our interest is the analysis of the impact of El Niño in Peru and for this task we started collecting the necessary data and analysing them through exploratory data analysis techniques. In this paper we introduce the data, the exploratory methods used so far, and the first results that we obtained from the first analyses performed.

THE DATA

The first data base that we found through Internet of some interest for our purpose is the one provided by the United States' National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA). NOAA operates an array of 88 buoys almost regularly placed on a regular grid of 8 x 11 nodes in the Equator belt of Pacific Ocean. The buoys measure temperature, currents and winds in the equatorial band and transmit daily the data which are collected, checked for quality, adjusted when necessary, and made available to researchers and forecasters around the world. The distribution of buoys is shown in Figure 1.

For our work, we limited our attention to the Ocean's surface temperature that we downloaded from NOAA's web site (www.pmel.noaa.gov/tao). They were 88 time series of daily surface temperature taken from March 1st, 1980 through December 31st, 2008. Of these, 20 series were empty and we withdrew them. The other 68 time-series are all nearly continuous since 1991, whereas only 27 had data in the previous period. Thus, we decided, as a preliminary task, to limit the study on the 68 time-series and on the period 1991-2008, for a total of 6575 daily observations. To this data base we added, as nominal characters to use as supplemental elements, the year and the month of sampling, together with a combination of year and season, to follow in a medium detail the overall evolution of the temperatures.

THE METHODOLOGY

We submitted the surface temperature data table to exploratory multidimensional data analysis techniques, the first of a three steps methodology that aims at modelling phenomena under study. It is customary, nowadays, to finalize a scientific investigation in which experimental data are involved, on a model, either theoretical or mathematical, that sufficiently describes the main features of the phenomenon under study, to show how some collected data fit the model, and to simulate its behaviour in order to derive further considerations on the subject. In [1,2] the modelling is considered the third of a methodology in three steps, preceded by an exploratory and a confirmatory steps. In this way, the model structure flows from the information extracted from the data and may lead to a better understanding of the data variation.

A study path in three steps

Data collection is the first step in any scientific investigation that may formulate and validate well-grounded hypotheses. Once the information contained in the data is syn-

thesized, validated, and understood, it may be transformed into a model. The more a mathematical model of a phenomenon is developed in line with collected data sets, the better it may fit the phenomenon and be truly adequate for any further use. For this reason it is wise to proceed very carefully when building a model, in order to avoid some a priori assumptions that may further be revealed as false. In particular, Benzécri [3] and the French school of analyse des données (data analysis), consider it dangerous to attribute pre-defined statistical distributions to the data, to be used to validate the obtained statistics through statistical techniques. Indeed, the statistical methods necessary to estimate parameters, test hypotheses, and take decisions, need some information on the data distribution that is not always known a priori. So, before applying statistical methods, one ought to ascertain the true distributions. In addition, in the building of a model, the knowledge concerning the existence of factors underlying the distribution, the existence of sub-populations, and some cause-effect relations, may be relevant.

Indeed, within the same investigation, different phases occur to form the knowledge. Different aims correspond to each phase and, as a consequence, a different approach is necessary, therefore different methods and tools are supposed to be used. So, we consider it wise, in any study that deals with the analysis of some data, to follow a pathway that may be described through three steps that correspond to three different methodological phases: exploratory, confirmatory, and modelling phase. In this paper we limit our attention to the first one, that will be described in the following, whereas the others may be found in [1,2].

The exploratory phase

In this first phase there is usually very little knowledge of the relations among the observed characters and the structure of the population from which the data were taken. Moreover, there is no certainty that the phenomenon is completely described by the data or that all the collected data are truly necessary for its description. So, at this stage it is not reasonable to go any further in search of the concluding answers, but limit the study to the structure of the sample and the relations that may be identified. This is the task that may be performed by the exploratory data analysis: this is «detective work» [4] aimed at revealing the structures and relations that may be found in the data. The methods developed in this framework aim at grasping the most of information in a highly synthetic and easily understandable way, and at helping to formulate some

hypotheses concerning relations among characters, existence of classes of objects with specific features, identification of latent factors, etc..

In our work, we will join an ordination with a classification [5] techniques, namely Principal Components Analysis (PCA, [6,7]) and Hierarchical Factor Classification (HFC, [8]) of variables. Indeed, the quest for optimal orderings may lead to the identification of some factors that can explain the objects diversity, whereas the classification of variables may provide better insights in the relations that tie the variables themselves. Indeed, HFC aims at replacing the so-called Tandem Analysis [9], composed by a PCA followed by a classification of the units, by the identification of factors associated to the classification of the variables and the segmentation of the units based on these factors. Both methods are exploratory and may not be used beyond their actual allowances. In particular, no statistical inference of the exploratory analysis results may be done to the reference population. This is the reason why the hypotheses, formulated during this step, must be validated before being accepted as knowledge. This may be done through further investigations in the framework of the further step where specific techniques are used.

Principal Component Analysis

Principal Component Analysis (PCA, [3,6,7]) is a classical exploratory analysis tool, that aims at synthesizing a quantitative (ratio-scale) data table by searching a reduced dimensional representation that summarizes most of the data variation, in the sense of the points inertia around the centroid-origin. In this way, both continuous characters and units may be represented on graphics in which their position reflects respectively the factors' values for the units and the correlation with the factors for the characters. Through PCA the factors, that are linear combinations of the original characters, may be interpreted on the basis of the characters whose coefficients are higher and of those most correlated with them. As for the units, their position in the factor space reflects their score in the ordination given by each factor, a kind of compromise between the scoring of the characters that contribute or are correlated with them.

The PCA's rationale is based on the Singular Value Decomposition (SVD, [10]) of the data table and its strict relation with the eigendecomposition of the correlation matrix between the data table columns. We start with an $n \times p$ data matrix X , whose n rows $x_{i,j}, i=1, \dots, n$ represent the values taken by all characters in each of the units

and whose p columns $X_j, j=1, \dots, p$ represent the values taken by each of the characters on all units. The matrix is first transformed by standardizing the columns, that is by centering them to the respective mean and dividing them by their respective standard deviation, in symbols

$$x_{ij}' = z_{ij} = \frac{x_{ij} - \bar{X}_j}{n\sigma_j}$$

so that each column's mean and variance become 0 and 1 respectively. Then, through SVD the so built matrix Z is decomposed as $Z = UA^{1/2}V'$, where U and V are the symmetric orthogonal matrices of the eigenvectors of $Z'Z$ and ZZ' respectively, with $UU' = I_n$ and $VV' = I_p$, and A the diagonal matrix of the corresponding eigenvalues of both, all non-negative, sorted in decreasing order.

Thanks to the decomposition, the units' coordinates on each factor result as the columns of $UA^{1/2}$, whose variance equals the corresponding eigenvalue and the coordinates of the characters as the columns of V . As they are orthogonal, the coordinates of the units on the factors are uncorrelated among them, and it results that the amount of inertia along each factor equals the corresponding eigenvalue. Thus, its importance may be measured by its share to the total table inertia, given by the ratio of the eigenvalue to $\text{trace}(A) = \sum_{j=1}^p \lambda_j$. The Eckart and Young [11] theorem ensures that the best reduced rank reconstruction of the data matrix, in the least-squares sense, is obtained if it is limited to the first larger eigenlements. It must be reminded that, in decreasing order, the coordinates of the units along each factor are the best approximation of the values of the original characters and that the cosines of the angles among the characters are the best approximation of their correlation in the reduced dimensional spaces. For the interpretation of the PCA results, the contribution given by each character to the linear combination that defines each eigenvector and the correlation between characters and factors are the most important issues. Then, the eigenvalues and their percentage of explained inertia are useful to identify the amount of total information interpreted. This information is currently taken into account to decide the most suitable reduced dimension for the interpretation. Indeed, this is still an issue debated in literature [12,13] and we did not take a decision in this sense: in this paper we shall evoke the first four dimensions, interpreting only the first two, just as a provisional examination, with no claim to be exhaustive.

On PCA factor spaces other characters, both continuous and nominal, and other units may be projected as supplemental elements, based on their behaviour in respect to the active elements: the continuous characters are projected on the circle of correlations according to their correlation with the axes; each level of the nominal ones is represented at the centroid of the units that take that level as observed value. As the supplemental characters do not participate to the eigenvectors construction, they are useful as external references in the factors interpretation. We shall take advantage of this feature to include in the graphical representation both the time nominal characters and the HFC representative variables of the classes, in order to synthesize the results and ease its interpretation. We shall see that this will reveal more useful than classifying the units, a task that usually follows PCA in Tandem Analysis.

Hierarchical Factor Classification

Hierarchical Factor Classification of continuous characters (HFC), first proposed by [14], see also [15], and further optimized [8], is a new method that aims at combining the classification of characters, a task neither very developed nor very used in literature, with the factorial methods in the same exploratory spirit of PCA; it is easy to use, and its results are immediately understandable by a non-particularly specialized user.

HFC combines classification and ordination in a single procedure, so that it outputs at the same time a hierarchy and a set of principal planes associated to the hierarchy's nodes. The association among characters is based on their reciprocal covariance and, for each node, the method provides a principal plane where both characters and units can be represented. This is certainly an advantage for the user accustomed to PCA and subsequent hierarchical clustering, in that the interpretation of the groups of characters and of the principal components becomes easy, and the units can as well be classified at each step according to the found differences among the characters. Since the method is based on the same geometric space as PCA, the resulting principal components can be represented as supplemental elements in the PCA principal planes. This allows an interoperability between the two methods. The idea underlying the method is that the representative variable of a group of variables plays the role of central tendency of the whole set, similar to the first principal component in a PCA and the centroid of a group of units. Thus, by choosing as representative variables the first principal component of a non-standardized PCA, the weight of the groups is in some way given to its representative variable.

This is like attributing to the centroid the weight of each group of units in the Ward's [16] clustering method.

Once all original variables are standardized, thus constituting the set Z , each of them is considered both a singleton group and the representative variable of this group. Then, the iterated procedure for the construction of the hierarchy is the following:

1. all pairs of existing groups are compared, through their representative variable: each pair of representative variables is submitted to a non-normalized PCA, i.e. the PCA of their 2×2 covariance matrix. It must be pointed out that in the case of standardized characters this equals the correlation matrix. As a consequence, if the comparison is done between two original characters an ordinary PCA results, whereas for all other comparisons the results will be different: in particular, the trace of the matrix will be larger than 2;
2. the pair is chosen, whose PCA results with the least second eigenvalue: due to the unpredictable value of the trace of the covariance matrix this is not the same as searching for the highest value of the first one;
3. the two groups represented by the chosen pair are merged into a new group, that is a node of the hierarchy;
4. the first principal component of the PCA of the chosen group is taken as representative variable of the new group, since it represents what the two merged groups have in common;
5. the second principal component is taken as node variable, showing the internal differences within the node;
6. the second eigenvalue is taken as the node's hierarchy index, say λ_k for the k -th node;
7. a principal plane is associated to the node, on which both the representative variables of the joining groups and all the variables belonging to the node may be represented; as well, all the units may be represented there, as they are seen by only the variables belonging to the node.
8. The steps 1) to 7) are iterated until convergence.

Given this hierarchy, a partition may be built by cutting it at any level and the part of the hierarchy upper the cutting shows the relations among the nodes that compose the partition as classes. Indeed, as all classifications resulting from the cut of a hierarchy, this one would be far from optimal and in this case not only the classes but also

their representative variables would be concerned, so that, an optimization process is required. In this case, the original hierarchy is optimized via a K-means-like procedure [17], in which each variable is reassigned not only to a terminal class but also to all nodes in the upper hierarchy that contain the class. The optimization criterion applied to this reallocation is then

$$Q = \sum_{k=1}^{p-1} v_k \sum_{c \in P_k} \text{var}(y_c)$$

that is a weighed maximization of the variances of the representative variables of each class of all nested partitions. Here, the indexes of the original hierarchy are chosen as weights, so that the upper levels' representative variables have a higher weight in the optimization process. As for K-means, it may be proved [8] that this optimization is convergent.

Once an optimal hierarchy is obtained, it is important that a partition obtained by cutting the hierarchy satisfies some criterion. Here it is important that the classes/nodes satisfy a homogeneity criterion, according to the correlation between the variables representative of the classes. More precisely a node $c = a \cup b$ is considered homogeneous if the representative variables v^a and v^b of the two subclasses a and b are significantly correlated, according to a simple correlation test. In this case, the node is not split and defines a cluster of the searched partition.

Thus, we may cut the dendrogram in order to keep only significant nodes: starting from the top of the hierarchy, each node $c = a \cup b$ merging two classes a and b is iteratively examined. Then, a partition is chosen as soon as the following node merges two classes whose representative variables v^a and v^b are significantly correlated.

With the chosen partition, say in h classes, an upper hierarchy of $h-1$ nodes results. Thus, $h-1$ principal planes are available, on which the representative variables of the merging classes and the variables that belong to the node are all represented. All units too are represented on these planes, as seen only by these variables. In a scatter diagram of the two representative variables, whose groups joined in a given node, the interpretation of both factors at each step is straightforward: the position of the first factor is within the smallest angle between the two straight lines spanned by the repre-

sentative variables, since the highest scalar product corresponds to the smallest angle. That is, the first factor summarizes what the representative variables have in common and therefore what have in common also all characters gathered in the node. Instead, the second factor represents what the characters do not have in common, which is minimized at each step. It is then natural to consider the first factor as the variable representative of the new node. Since the PCA is not standardized, the first eigenvalue is the difference between the sum of the two variances of the two representative variables minus the second eigenvalue, so that it can take any positive value.

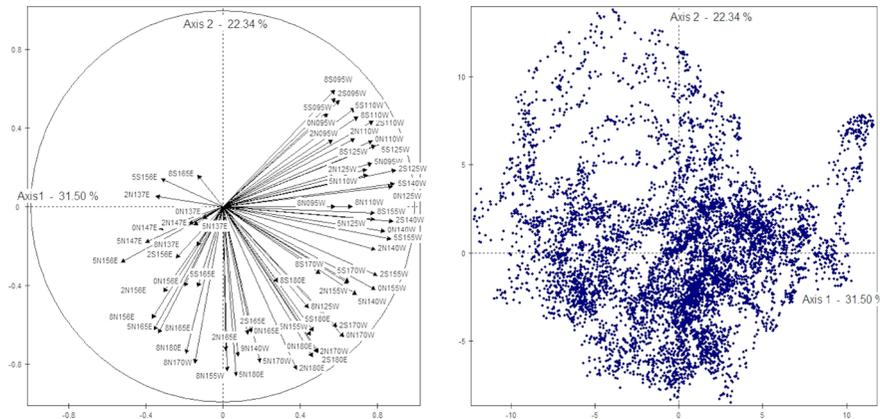
It may be shown that all representative variables are linear combinations of the original ones. This allows the projection of the representative variables on the principal spaces of an ordinary PCA.

All representative variables are linear combinations of the original ones (with zero coefficients of the characters not belonging to the represented group), so that they lay in the same vector space. Thus, it may be proved (Denimal, 2007) that the total inertia of the data table is decomposed according to the sequence of fusion levels plus the first eigenvalue of the last PCA. This property would not hold if at each step the representative variables were standardized.

The method has been recently improved, in order to fit an optimization criterion. Indeed, Denimal [8] proposed to decompose the hierarchical factorial analysis in two main stages: the first one aims at building an initial hierarchical clustering of variables which is, in a second step, improved through an optimization process. The latter can be interpreted as a K-means [17] type procedure defining a convergent series of hierarchies and aims at improving the quality of both clusters and their representative variables. In this optimization process, the level of the node defining each cluster is also taken into account by allocating increasing weights to the nodes of the hierarchy according to their levels. From this point of view, the optimization process aims at defining a new hierarchy whose significant splitting appear as clearly as possible and are concentrated in a number of upper nodes as small as possible. As a consequence, the two subclusters defined by each of these upper nodes of the optimized hierarchy are as separated as possible and the elements of each of them built up as closely as possible. As a result of this process, the found partition is optimized, together with the upper part of the hierarchy.

Figure 2 - PCA - Representation of the timeseries of daily temperatures on the plane spanned by the first two components (left).

Figure 3 - PCA - Representation of the daily observations on the plane spanned by the first two components. (right)



NUMERICAL RESULTS

Principal Component Analysis

The data table of 68 buoys 6575 daily measures of surface temperature was submitted first to PCA adding the months, the years, and the combination of season and years as supplemental 12-, 18-, and 72-nominal level characters respectively. In this way a better understanding of the pattern of the data could be obtained, as it will be shown later.

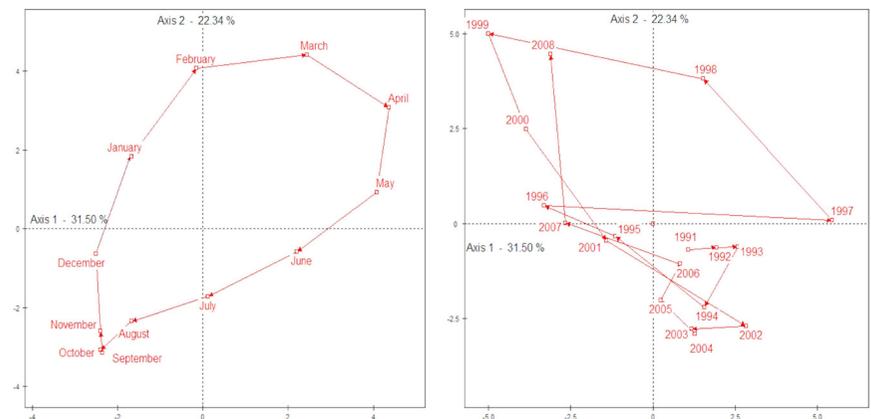
The examination of the sequence of the first ten eigenvalues of PCA shows that after the first two of high relevance, two minor follow and then other five all worth around one, whose value suggests that some attention might be deserved to their corresponding eigenvectors. For the moment, we concentrate on the first two, that summarize nearly 54% of the total inertia, but later the following two might be taken into account, as they may be tied to some groups or months or of sites. In this case, the explained inertia would raise to 68%.

Indeed, looking at Figure 2, in which the sites time-series are set according to their correlation with the first two factors of PCA, it may be seen that most sites series are rather well represented, with a continuous pattern, that indicates a chain of correla-

tions among them, but an independence between the series close to the first factor and those close to the second. Some series, situated close to the negative side of the first factor are poorly represented on the plane: a sign that the following axes might be examined. The interpretation is straightforward, since the arrows point in direction of the warmer days, so that the fourth quadrant represents the warmer periods and the second the cooler ones. Apart from that first remark, the reading of the figure is neither easy nor interpretable, but in the following we shall take advantage of the classification of characters to reduce the amount of displayed items and attempt an interpretation concerning the sites.

Figure 4 - PCA - Pattern of the months on the plane spanned by the first two components. (left)

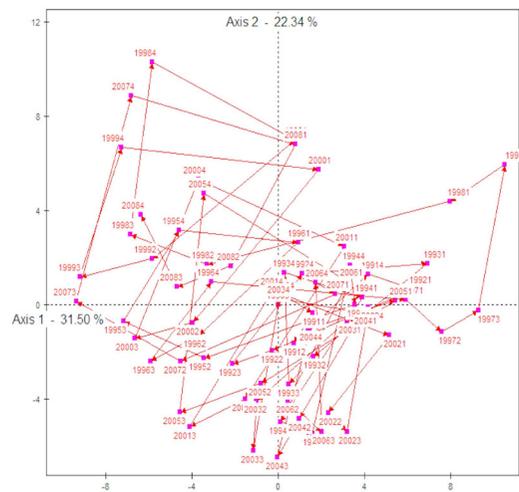
Figure 5 - PCA - Pattern of the months on the plane spanned by the first two components. (right)



On Figure 3 the pattern of daily measures may be observed. It is evident that nothing can be said easily concerning the daily variation, due to the too large number of units involved. To understand this pattern, we shall use the projection on the plane of the months, the years, and the combination season-year, that will allow us to draw the trajectories corresponding to the time sequence of these items. In Figure 4 the pattern of the months is represented. Looking at it the meaning of the factor plane becomes evident, since the yearly seasonal variation is regularly represented. Indeed, a regular

circular pattern of the month results, with the year's first season period roughly corresponding to the second quadrant and partially to the first, the second season to the first and partially the second quadrant, with the other two seasons concentrated in the fourth. This circularity suggests to understand the position of the individual series in the sense that the sites should reach their maxima of temperature in the years' period whose position is in agreement with their direction and the minima in the opposite one. Despite the array is situated regularly around the Equator belt, no true opposition appears among the buoys situated in the opposite hemisphere. The closeness of the months from September to December may be compared to the said series poorly represented on this plane: maybe the position of both months and series on the following axes would show some specific behaviour.

Figure 6 - PCA: The seasons pattern from 1991 to 2008 on the plane spanned by the principal axes 1 and 2 of the PCA of the time series.



In Figure 5 the trajectory of the years is reported on the same plane. In this case, a rather limited fluctuation is visible in the years 1991-1994, that are concentrated in the fourth quadrant. Then in 1995-1996 an evident displacement in direction of the second quadrant is followed by a dramatic shift along the first axis, so that 1997 (when the last registered El Niño event occurred) is set in a position corresponding to maximum heat. Then, the following

two years result progressively more cold, to return two years later to the previous average situation, so that the years 2002-2006 are again in the fourth quadrant. Indeed, the last two years show a pattern reversed in respect to the El Niño previous one, with a shift towards the maximum cold.

In Figure 6 the time pattern is given more complex by combining the year and the season. Thus it may be seen that the El Niño maximum that occurs in winter 1997 is preceded by a change in the circular fluctuation that may be noticed in winter 1996, in which the tendency is inverted towards colder temperatures than usual, so that the increase until winter 1997 is horizontal along the first axis. After winter 1997 the regular pattern is re-established, but at colder levels, until winter 2000, after which a stability period reappears with the same temperature levels as before 1996, until a new pattern change, this time in direction of the cold, reappears starting in autumn 2007.

On this basis, we are now able to understand the meaning of the "finger" that appears on the representation of the daily measures: it should be the period of maximum effects of El Niño.

Hierarchical Factor Classification

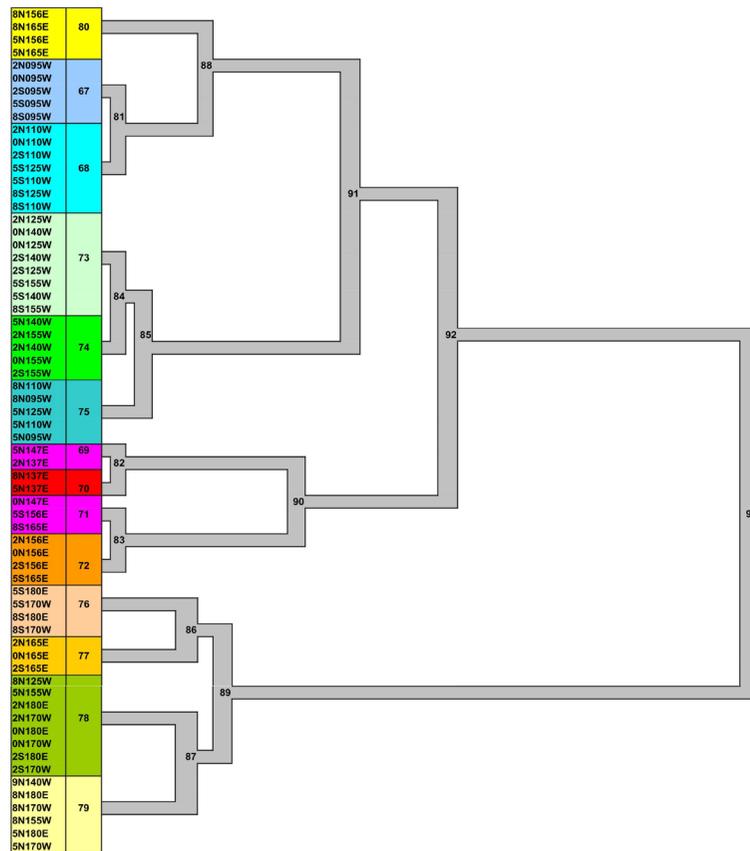
In order to run the HFC we had to withdraw other two buoys, whose missing values were too many to allow a correct analysis.

The inspection of the hierarchy structure obtained after optimization gives fourteen groups as the partition of higher interest. The upper part of the dendrogram is shown on Figure 7: here, it may be seen that the fourteen groups gather to form two classes, one of which further splits into four smaller.

In Figure 8 the time-series are represented in form of points on the plane spanned by the principal components of the upper hierarchy node (the 93). As expected, the position of the series on this plane is very close to the one resulting from PCA, so that the interpretation is the same. Here the series of each class are contoured by an ellipse and coloured accordingly for an easy identification. In Figure 9 all classes' representative variables are shown on the same plane, in form of vectors. This allows an easier interpretation of the classes features, as their orientation in respect to the origin may be compared to that of the months, that is it reflects the warmest month for the class. Thus, the classes 67, 68, 73, and 75 should correspond to the buoys with maximum temperatures in March, April, and May, the 76, and 78 should reach their maxima around June, the 77 and 79 during July, 80 and 72 between August and November and 69, 70, and 71 during December and January.

It is interesting to observe an apparent anomaly of the dendrogram, that gathers the class 80 with the 67 and 68, opposed to it: this is due to the fact that, in principle, each node of the hierarchy is composed by correlated groups, regardless of the correlation sign, thus in form of dipole. In this study, the other dipole occurs in node 92, with the same kind of opposition. In both cases the same interpretation may be done: the (negative) correlations of class 80 with node 81, gathering 67 and 68, and of the node 90 with node 91 is higher than that (positive) with classes and nodes apparently close to them on the figure: this is evident, considering the different hottest months for these series.

Figure 7 - Upper hierarchy of the 66 time-series of temperatures, with the 13 nodes dominating the partition in 14 classes.



The partition is represented in Figure 10, in which the time-series are represented in a schematic way according to their geographical position. Here the different colours represent the different groups, as identified in the bottom row by the number of the corresponding node of the hierarchy. On each series the mean temperature of the class along the whole period is reported. It is interesting to observe that, apart from class 71, all others result spatially connected, an important sign of continuity, that may concern the 71 too, considering that it is situated by the border of the array, so that even this one may be somehow connected in the reality.

Looking at the table, one may notice that in the Eastern site of the Pacific a larger homogeneity results, as it may be reflected by the size of the classes in that area, that results the coldest site of the Equator Pacific belt. The Centre and Western classes are much smaller and those situated North and North-East of Indonesia are the warmest. Their behaviour seems alternative to the others, so that the big class they form is actually tied to the previous one mainly in the dipole sense, that is based on their negative correlation, as represented on the principal planes. The other classes are situated in the Central Pacific in an intermediate position, with temperatures in-between the others, thus reflecting an independence from them. This could explain the fact that they gather with the other dipole at the very last level. On the opposite, it is not easy to understand the differences among the series in the Central and in the Western Pacific, since this may depend on variations that may not be so easily visible.

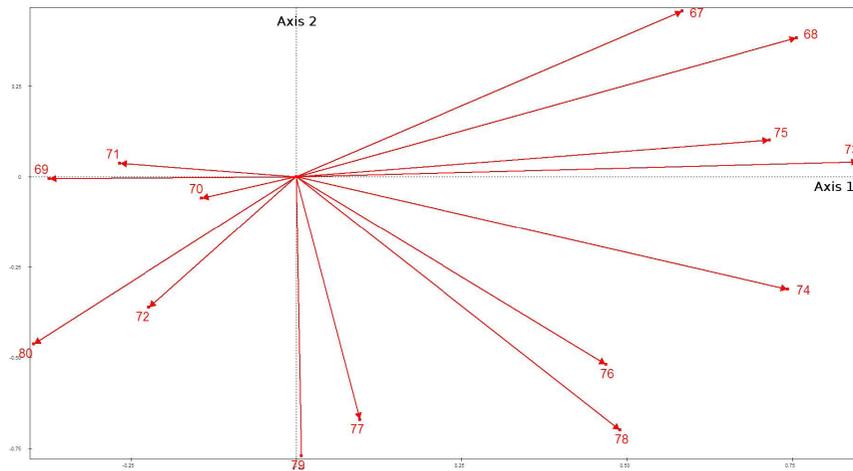
FINAL REMARKS

At a very first sight, the El Niño fluctuation results very well depicted by the first few graphics that we showed here and it appears as a very important variation in the otherwise stable fluctuation of the temperature's regime in Pacific Ocean's Equatorial belt. From the graphics it results that the corresponding raise in temperature is preceded, around a year earlier, by a decrease. This appears in the only complete El Niño fluctuation that was registered by the collected data, namely the 1996-2000 one, but maybe a new El Niño cycle started in autumn 2007, this time apparently with an important lowering until end 2008, the end of the downloaded data.

The first results of HFC gave us interesting information concerning the relative homogeneity of the classes and the relative difference among them. Indeed, the higher fragmentation of the Central and Western Pacific, in respect to the Eastern side, may be

interpreted either on a morphological basis, such as the larger presence of islands, or on the presence of different streams. From the analyses other interesting results derive, in particular the different behaviour detected in the different groups of buoys along time, that results from their different position on the first factor plane, as well as the special situation of two groups of buoys, whose main variations are along the third and fourth factors respectively.

Figure 9 - HFC: Representation of the representative variables of the 14 classes of the time-series on the plane spanned by the principal components of the upper hierarchy node. The numbers correspond to the classes.



Indeed, a deeper comprehension of the Pacific Ocean temperature pattern could derive by studying the correlation among series at some time-interval lag. Maybe this could explain the difference among the small classes obtained.

It must be observed the contrast between the regular pattern of the seasonal variation during the normal years and the important deviation due to El Niño effects in the studied period: with more historical data one may evaluate the different deviation during the various manifestation of the fluctuation and try to derive any systematic pattern. This could be the subject of a further investigation.

Figure 10 - HFC: The composition of the classes on a schematic reproduction of the buoys geographical position. The number of classes is given in the coloured explanation below, in which each row corresponds to a class in the 4-classes partition of the dendrogram. In each cell, the average temperature of the corresponding time-series is reported.

| | 137E | 147E | 156E | 165E | 180E | 170W | 155W | 140W | 125W | 110W | 95W | |
|----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|-------|----|
| 9N | | | | | | | | 28.32 | | | | 9N |
| 8N | 29.21 | | 29.13 | 29.13 | 28.32 | 28.32 | 28.32 | | 28.33 | 27.6 | 27.6 | 8N |
| 5N | 29.21 | 29.43 | 29.13 | 29.13 | 28.32 | 28.32 | 28.33 | 27.28 | 27.6 | 27.6 | 27.6 | 5N |
| 2N | | 29.43 | 29.6 | 29.44 | 28.33 | 28.33 | 27.28 | 27.28 | 26.73 | 25.6 | 24.71 | 2N |
| 0N | | 29.61 | 29.6 | 29.44 | 28.33 | 28.33 | 27.28 | 26.73 | 26.73 | 25.6 | 24.71 | 0N |
| 2S | | | 29.6 | 29.44 | 28.33 | 28.33 | 27.28 | 26.73 | 26.73 | 25.6 | 24.71 | 2S |
| 5S | | | 29.61 | 29.6 | 29.39 | 29.39 | 26.73 | 26.73 | 25.6 | 25.6 | 24.71 | 5S |
| 8S | | | 29.61 | | 29.39 | 29.39 | 26.73 | | 25.6 | 25.6 | 24.71 | 8S |
| | 137E | 147E | 156E | 165E | 180E | 170W | 155W | 140W | 125W | 110W | 95W | |
| | 70 | 69 | 71 | 72 | 77 | 78 | 76 | 79 | 74 | 73 | 75 | |
| | | | | | | | | | 80 | 68 | 67 | |

ACKNOWLEDGMENTS

The TAO Project Office of NOAA/PMEL is gratefully acknowledged for providing the time-series that were used in this study. This work was granted by the bilateral agreement, of which the first and third authors are the promoters, between the Dipartimento di Matematica of Sapienza Università di Roma and the Instituto de Matemáticas y Ciencias Affines of the Universidad Nacional de Ingeniería of Lima, the Socrates/Erasmus agreement between Sapienza and Lille University for what concerns the first and second authors, and by the support of the Scientific Attaché of the Italian Embassy in Buenos Aires. All granting institutions are gratefully acknowledged.

REFERENCES

- [1] S. Camiz, 2001. Exploratory 2- and 3-way Data Analysis and Applications. Lecture Notes of TICMI, Tbilisi University Press, vol. 2. <http://www.emis.de/journals/TICMI/Int/vol2/lecture.htm>.
- [2] S. Camiz, A. Altieri, and F. Manes, 2008. Pollution Bioindicators: Statistical Analysis Of A Case Study. *Water Air and Soil Pollution*, 194(1-4), 111-139.
- [3] J.P. Benzécri et al., 1973-82. *L'Analyse des donnees*. Paris, Dunod.
- [4] P.J. Diggle, K.Y. Liang, and S.L. Zieger, 1994. *Analysis of Longitudinal Data*. Oxford, Clarendon Press.
- [5] R.H. Whittaker (ed.), 1967. *Handbook of Vegetation Science - Part V: Ordination and Classification of Vegetation*. Junk, The Hague.
- [6] I.T. Jolliffe, 2002. *Principal Components Analysis*. Springer, Berlin.
- [7] C. Lagrand, L.M. Pinzón, 2009. *Análisis De Datos. Métodos y ejemplos*. Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito, Bogotá.
- [8] J.J. Denimal, 2007. Classification Hiérarchique Optimisée d'un tableau de mesures. *Revue de Statistique Appliquée*, 148(2), 29-61.
- [9] P. Arabie, L. Hubert, 1994. Cluster analysis in marketing research, in R. J. Bagozzi (Ed.) *Advanced methods of marketing research*, London, Blackwell, 160-189.
- [10] M.J. Greenacre, 1984. *Theory and Application of Correspondence Analysis*, London, Academic Press.
- [11] C. Eckart, G. Young, 1936. Approximation of one matrix by another of lower rank, *Psychometrika*, 1, 211--218.
- [12] D.A. Jackson, 1993. Stopping Rules in Principal Components Analysis: A Comparison of Validation of stopping rules in eigendecomposition methods Heuristical and Statistical Approaches, *Ecology*, 74(8), 2204-2214.
- [13] P.R. Peres-Neto, D.A. Jackson, and K.M. Somers, 2005. How many principal components? Stopping rules for determining the number of non-trivial axes revisited. *Computational Statistics and Data Analysis*, 49: 974-997.
- [14] J.J. Denimal, 2001. Hierarchical Factorial Analysis, *Actes du 10th International Symposium on Applied Stochastic Models and Data Analysis*.
- [15] S. Camiz, J.J. Denimal, and V.D. Pillar, 2006. Hierarchical Factor Classification of Variables in Ecology, *Community Ecology*, 7(2), 165-179.
- [16] J.H. Ward, 1963. Hierarchical Grouping to optimize an objective function. *Journal of American Statistical Association*, 58(301), 236-244.

Multidimensional Analysis of Images of Ajax Myth in the Italic Production

ABSTRACT

A data set was studied containing qualitative data relative to finds within VIII and III century b.C. on which images taken from the myth of Ajax Telamonius are represented. Multiple Correspondence Analysis showed a bidimensional structure on which the dating is highly correlated with the other characters taken into account. Problems in Qualitative Discriminant Analysis suggested the use of Greenacre's Joint Correspondence Analysis. The theoretical problem is discussed and some provisional results are shown in comparison with those issued by MCA.

INTRODUCTION

In [1] a set of finds of various kind in which the image of the Greek hero Ajax Telamonius is represented were studied. The main aim of the study focussed on the possible relation between the different images found engraved on the finds (the Iconography) and the outer information related to them, as Support, Production, Technique, Site of finding, Period, and Dating. From the first exploratory analyses a relation appeared evident between Iconography and the other characters and of the Dating, when available, with them. For this reason, an attempt was made to apply Qualitative Discriminant Analysis (QDA, [2]) on the subset of the finds with known Dating to estimate it on the basis of the other characters and apply it to the finds whose dating was unknown. DQA is based on Multiple Correspondence Analysis (MCA, [3,4]), the well known exploratory factor technique able to produce coordinates of levels of qualitative characters. Indeed, DQA uses these coordinates to perform a classical Discriminant Analysis (DA, [5,6]) based on these coordinates and then translates the results in terms of each character's level. The results were fairly good, once that all factors issued from MCA (25) were taken into account, whereas they resulted much worst, when a reduced number of factors was used. This appeared in contradiction with the fact that only two factors resulted of high importance (in exploratory terms) and that no other factor resulted different from zero, according to the Ben Ammou and Saporta test [7]

S. Camiz (1),
G.C. Gomes (2).

¹ Dipartimento di Matematica Guido Castelnuovo, Sapienza Università di Roma - Italy

² U.F.R. de Mathématiques Pures et Appliquées, Université des Sciences et Technologies de Lille - France

sergio.camiz@uniroma1.it

Figure 1 – Images of the myth of Ajax Telamonius on Italic finds. From top to bottom, left to right: a) Dice play, b) Fighting with Hector, c) Suicide, d) Achilles transport, e) Suicide, f) Fighting.



It is evident that this depended upon the reconstruction of the original data table given by MCA spectral decomposition once it was limited to a reduced number of factors. The problem was already investigated on another dataset by Camiz and Gomes [8] who found that the partial reconstruction of MCA is not as effective as it should be. Indeed, MCA is based on Correspondence Analysis of the Burt's table B, a super-contingency table that crosses all characters involved in the analysis. Unlike the single tables, in B diagonal subtables result, where each character crosses itself: it is evident that these subtables are those with the maximum deviation from expectation.

Thus, MCA rebuilds first these tables, whereas the off-diagonal tables, that deserve the true interest, are highly biased and are correctly reconstructed only taking into account all the factors. In practice, Camiz and Gomes [8] showed that the residuals of the off-diagonal tables reconstruction, until the very last dimensions, are worst than the deviations from the independence itself. As an alternative, they found that Joint Correspondence Analysis (JCA, [9]) that aims at reproducing at the best the off-diagonal tables, worked much better, even limited to the number of factors whose singular values in MCA are larger than the mean.

Our current aim would be to solve the contradiction found by [1], that is to find a reduced set of quantitative characters, meaningful in terms of data interpretation and reconstruction as a factor analysis might be, that may be used successfully in a qualitative discriminant analysis. Should this reduced dimensional reconstruction be good, a limited number of coordinates might be used in DA to estimate the discrimination functions with results comparable to those issued by total MCA, but better interpretable.

In this paper we investigate the problem, by applying to the Ajax data both MCA and JCA. Thus, we report, together with the main MCA results already published, the first results of the work currently in progress: the application of JCA to the same data and the results of partial reconstructions obtained through MCA, a kind of re-evaluated MCA [10, 11], and JCA.

THE DATA

The reference corpus is composed by 194 images of Ajax Telamonius observed on 189 finds chosen among Greece and Pre-Roman Italic productions. We refer to [1] for the construction of this corpus, based on literature. Then, each find was described according to:

- A) Support: 1-painting, 2-sculpture, 3-bronze, 4-glyptics, 5-big pots, 6-cups, 7-pots for ointments, and 8-other.
- B) Production: 1-Greek, 2-Italic, 3-Corynthian, 4-Attic, 5-Etruscan.
- C) Painting Technique: 1-black figures, 2-red figures, 3-no Attic ceramics.
- D) Site of finding: 1-Magna Grecia, 2-Greece, 3-Sicily, 4-Etruria Tirrenica, 5-Etruria Padana, 6-Inner Etruria, 7-Other, 8-Unknown.
- E) Iconography: 1-Dice play, 2-Ajax duelling, 3-Ajax among Achaios, 4-Embassy to Achilles, 5-Trojans' sacrifice, 6-Transport of Achilles, 7-Arms dispute, 8-Ajax suicide, 9-Ajax in the hereafter, 10-Ajax with extraneous.

F) Period: 1-Geometrical, 2-Oriental, 3-Arcaic, 4-Classical, 5-Ellenistic.

G) Dating: eleven 50-years periods, starting from 1-VIII-2 (second half of VIII century b.C.) through 10-III-1 (first half of III century b.C.), and 11-unknown.

In the graphics, the levels will be referred by the character's letter and the level's number reported in the list.

DATA ANALYSIS METHODS

The data table was submitted to both MCA [3,4], re-evaluated MCA [10,11], and JCA [9].

MCA

The aim of MCA is to reveal graphically the most important part of information contained in the so-called Burt's table B, that is the super-contingency table in which all characters are crossed two-by-two. To B correspondence analysis is applied, that may be formulated as the generalized singular value decomposition (GSVD, [4]) of B's deviation from expectation, that is $B - nr'r'$ with n the number of units, r the row profile of B, $D = \text{diag } \mu_\alpha$, Λ a diagonal matrix of the eigenvalues of $B - nr'r'$ sorted in descending order and F the corresponding matrix of eigenvectors, with $F'DF=I$. This leads to the reconstruction formula for the table's entries

$$n_{ij} = nr_i r_j \left(1 + \sum \mu_\alpha f_{i\alpha} f_{j\alpha} \right)$$

with $\mu_\alpha = \sqrt{\lambda_\alpha}$. If Q is the number of characters and J the pooled number of characters' levels, the sum is extended to all eigenvectors, say J - Q. It is proved that the partial reconstruction limited to the largest $p < J - Q$ μ_α s is the best reconstruction of B in generalized least squares sense.

The re-evaluation of the inertia and their examination give us a better insight of the Burt's table structure, but we would like also a method to establish how many factors are actually significant in an analysis, something that would indicate that the non-random deviation from the independence is represented by the first p main factors and not necessarily by the others. For this task, we could take advantage from the confidence interval for the mean eigenvalue proposed by Ben Ammu and Saporta [7]. If the characters are independent, then the sum of B's singular values is worth $\sum \mu_\beta = \frac{J-Q}{Q}$ and the sum of the eigenvalues is worth $\sum \lambda_\beta^2 = \sum \mu_\beta^2 = \frac{J-Q}{Q^2} \sum \phi_{ij}^2$ with $n \cdot \phi_{ij}^2 = \chi_{(i-1)(j-1)}^2$.

Thus $E[n_{\cdot j} \phi_{ij}^2] = E[\chi_{ij}^2] = (l_i - 1)(l_j - 1)$ so that the expected variance of the eigenvalues under independence is

$$\sigma^2 = E[S_{\lambda}^2] = \frac{1}{n_{\cdot} Q^2 (J - Q)} \sum (l_i - 1)(l_j - 1)$$

Roughly, one may assume that the interval $\frac{1}{Q} \pm 2\sigma$ should contain about 95% of the eigenvalues. Indeed, since the kurtosis of the set of eigenvalues is lower than for a normal distribution [7], the actual proportion is larger than 95%.

Re-evaluated MCA

This formula is derived from the one of correspondence analysis of a contingency data table. Indeed, B is a Burt's table, thus symmetrical and with the diagonal equalling the crossing of each character with itself. Thus the deviation from independence, and the inertia as computed on this basis, are highly biased by the diagonal subtables. To make up for this bias, Benzécri [10] argues that only the eigenvalues larger than their mean value deserve being taken into account, so that the true total inertia is no longer $\text{Inertia}(B) = \frac{J-Q}{Q}$ but the sum of these eigenvalues. As a consequence, each eigenvalue must be re-evaluated according to

$$\rho(\mu_a) = \left(\frac{Q}{Q-1} \right)^2 (\mu_a - \bar{\mu})^2, \mu_a > \frac{1}{Q}$$

and the percentage of explained inertia must be computed as $\frac{\rho(\mu_a)}{\sum_{\mu_a > \frac{1}{Q}} \rho(\mu_a)}$. Greenacre [11] considers the same re-evaluated eigenvalues, but he compares them to the inertia given by $\text{Off-diagonal Inertia} = \frac{Q}{Q-1} \left(\text{Inertia}(B) - \frac{J-Q}{Q^2} \right)$, that is the off-diagonal inertia of the Burt's matrix, that he considers more realistic. Whereas in [10] the re-evaluation formula seems only a way to estimate the share of information that may be attributed to the main factors, [11] suggests to adopt it in the reconstruction formula of the original data table.

JCA

The aim of JCA (Greenacre, [9]) is to optimize the reconstruction of B off-diagonal tables, regardless the reconstruction of the diagonal tables. In this sense, Greenacre claims that it is a better generalization of correspondence analysis to the case of several characters. Indeed, Camiz and Gomes [8] proved it more effective than MCA, thus recommended its adoption.

JCA fits only the off-diagonal contingency tables, in a way analogous to factor analysis, where values on the diagonal of the covariance or correlation matrix are of no direct interest. Indeed, the proposed redefinition of the total variation, by removing the diagonal block-matrices, would fix an important bias due to the application to the Burt's table of the chi-square metrics. With this metrics, the diagonal structure of the diagonal block-matrices represents a very high deviation from the expected values, that MCA analyses first as if it were a true deviation. Considering B as the gathering of $Q \times Q$ tables N_{ij} , JCA is a weighed least-squares approximation aiming at minimizing $n^{-1} \sum \sum |N_{ij} - H_{ij}|_{ij}^2$ instead of $n^{-1} \sum \sum |N_{ij} - H_{ij}|_{ij}^2$ as in MCA, where $H_{ij} = nr_i c_j$ are the independence subtables and $| \cdot |_{ij}^2$ is the chi-square norm of the sub-table. We drop here the rationale of the method, that may be found in detail in [9]: suffice here to say that in the special case $Q = 2$, where the problem reduces to fitting the single off-diagonal submatrix N_{12} , the initial solution described above is optimal and provides the simple correspondence analysis of exactly.

The algorithm proposed by Greenacre may be performed iteratively by alternating between the estimation of the diagonal subtables and the coordinates and inertias as follows:

1. Fix the dimension K of the solution.
2. Initialise the algorithm with an MCA of the full Burt's matrix B, that is $B = nrr' \approx nDXD_{\beta}X'D$.
3. Limiting attention to the first K columns of $X, x_{(1)}, \dots, x_{(K)}$ the formula above becomes $B = nrr' \approx \sum n\beta_k Dx_{(k)}x_{(k)}'D$, so that, if all quantities except the $\beta_k (k=1, \dots, K)$ are taken as fixed, the problem reduces to a simple weighted least-squares regression.
4. Keeping X and D_{β} fixed, set $C_{ii} = N_{ii} - nr_i r_i' - nD_i X_i D_{\beta} X_i' D_i$ ($i=1, \dots, Q$).
5. Keeping C fixed, minimize with respect to X and D_{β} : this is achieved by performing a correspondence analysis on the table $\bar{B} = B - C$, that is the Burt's matrix with modified submatrices on its diagonal, setting X equal to the first K vectors of optimal row or column parameters and the diagonal of D_{β} equal to the square roots of the first K principal inertias respectively.
6. Iterate the last two steps until convergence.

The methodology

In our study, we proceeded as follows:

1. We run MCA of the data table, and identified the singular values, all inertias reconstructions according to [10,11], and estimated the confidence interval of the mean one.
2. We performed the partial reconstructions of MCA, according to both the original inertias, say the eigenvalues, and the re-evaluated ones, the latter limited to only the eigenvectors whose eigenvalues were larger than the mean.
3. We performed JCA searching for increasing-dimensional solutions, until considering all the factors corresponding to the eigenvalues larger than the mean.
4. We performed the partial reconstructions of JCA solutions.

All computations were done with *ca* package [12] in the R [13] environment.

RESULTS

In Table 1 are reported all results concerning the inertia of the analyses. As we get 7 characters summing up to 50 levels, we got a total inertia of 6.14286 distributed along 43 non-zero singular values. Thus, the mean eigenvalue is 0.14286, and the off-diagonal inertia is worth 1.63605, much smaller than the total one. Only 16 dimensions may be taken into account, according to [10,11], that correspond to the dimensions larger than the mean. This corresponds to 70% of total Burt's table inertia for MCA and to 84.35% of the off-diagonal inertia for re-evaluated MCA. As JCA solutions are not encapsulated, they do not add-up from one dimension to the further, so that in the table, for every dimension, the cumulate inertia of the solution is given, together with the corresponding percentage of off-diagonal inertia. The comparison between re-evaluated MCA and JCA shows that the inertia of the solutions of the latter is systematically lower than those of the former, for 16 dimensions summarizing nearly 70% of the off-diagonal inertia much lower than the 84.35% obtained by re-evaluated MCA.

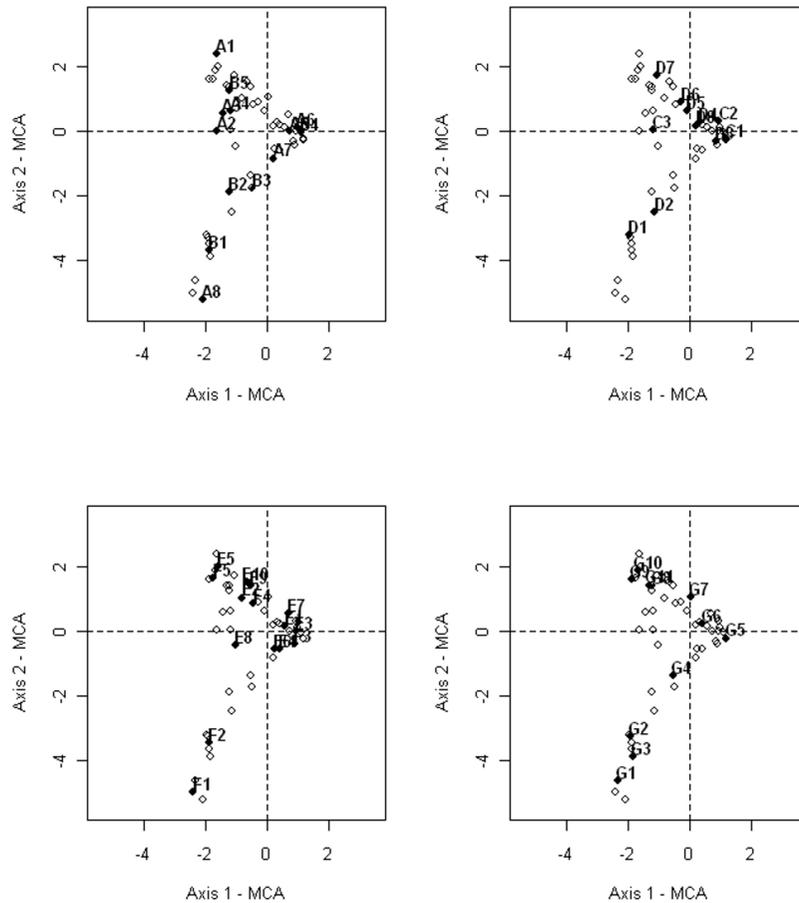
As the upper limit of the mean confidence interval is worth 0.2294924, only two significant singular values result from Ben Ammu and Saporta [7] test. Thus, we shall limit our study on Ajax myth images to the first two dimensions issued from both MCA and JCA.

In Figure 1 the pattern of the distribution of the seven characters levels is reported on the plane spanned by MCA first two factors, separated to ease readability.

Table 1 - Singular values, eigenvalues, inertias, percentages and cumulate percentages issued by both MCA and JCA of the Ajax myth data.

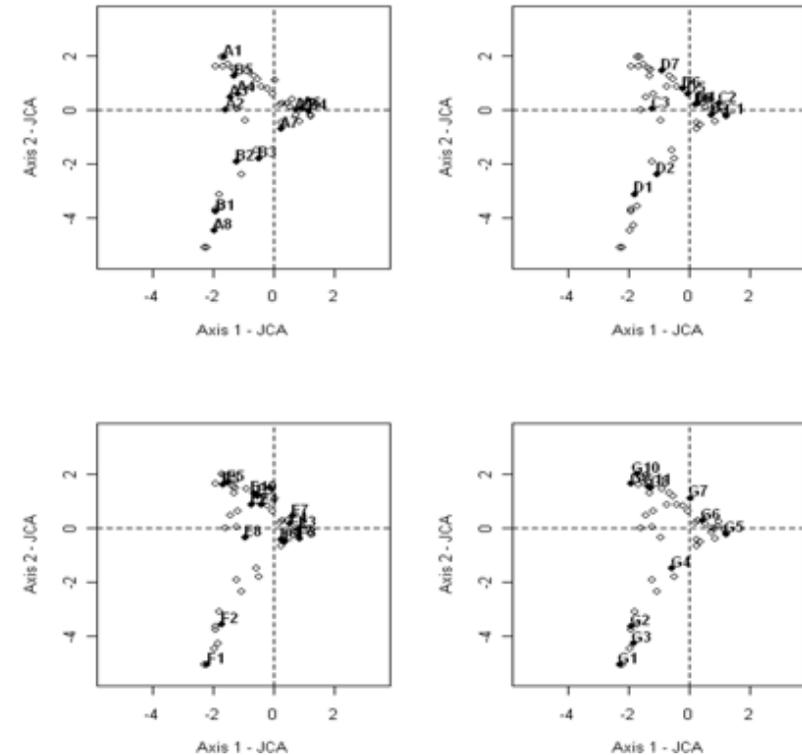
| N. | Singular Value | % | Cumul. % | Eigen Value | Reeval. Inertia | Benzecri % | Benzecri Cumul. | Greenacr e % | Greenacr Cumul. | Inertia JCA cum. |
|----|----------------|--------|----------|-------------|-----------------|------------|-----------------|--------------|-----------------|------------------|
| 1 | 0,6448 | 0,1050 | 0,1050 | 0,4158 | 0,3430 | 0,4595 | 0,4595 | 0,3876 | 0,3876 | 0,3637 |
| 2 | 0,5022 | 0,0818 | 0,1867 | 0,2522 | 0,1757 | 0,2354 | 0,6949 | 0,1986 | 0,5861 | 0,5730 |
| 3 | 0,3640 | 0,0593 | 0,2460 | 0,1325 | 0,0666 | 0,0892 | 0,7841 | 0,0752 | 0,6614 | 0,6520 |
| 4 | 0,3269 | 0,0532 | 0,2992 | 0,1069 | 0,0461 | 0,0618 | 0,8458 | 0,0521 | 0,7135 | 0,7312 |
| 5 | 0,3111 | 0,0507 | 0,3498 | 0,0968 | 0,0385 | 0,0516 | 0,8974 | 0,0435 | 0,7570 | 0,7919 |
| 6 | 0,2935 | 0,0478 | 0,3976 | 0,0862 | 0,0309 | 0,0414 | 0,9388 | 0,0349 | 0,7919 | 0,8627 |
| 7 | 0,2446 | 0,0398 | 0,4374 | 0,0598 | 0,0141 | 0,0189 | 0,9577 | 0,0159 | 0,8078 | 0,9167 |
| 8 | 0,2278 | 0,0371 | 0,4745 | 0,0519 | 0,0098 | 0,0132 | 0,9708 | 0,0111 | 0,8189 | 0,9583 |
| 9 | 0,2247 | 0,0366 | 0,5111 | 0,0505 | 0,0091 | 0,0122 | 0,9831 | 0,0103 | 0,8292 | 0,9817 |
| 10 | 0,2050 | 0,0334 | 0,5445 | 0,0420 | 0,0053 | 0,0071 | 0,9901 | 0,0060 | 0,8352 | 1,0210 |
| 11 | 0,1953 | 0,0318 | 0,5763 | 0,0381 | 0,0037 | 0,0050 | 0,9951 | 0,0042 | 0,8394 | 1,0530 |
| 12 | 0,1806 | 0,0294 | 0,6057 | 0,0326 | 0,0019 | 0,0026 | 0,9977 | 0,0022 | 0,8416 | 1,0734 |
| 13 | 0,1680 | 0,0274 | 0,6330 | 0,0282 | 0,0009 | 0,0012 | 0,9989 | 0,0010 | 0,8426 | 1,1047 |
| 14 | 0,1632 | 0,0266 | 0,6596 | 0,0266 | 0,0006 | 0,0008 | 0,9996 | 0,0006 | 0,8432 | 1,1185 |
| 15 | 0,1563 | 0,0254 | 0,6850 | 0,0244 | 0,0003 | 0,0003 | 0,9999 | 0,0003 | 0,8435 | 1,1388 |
| 16 | 0,1487 | 0,0242 | 0,7092 | 0,0221 | 0,0001 | 0,0001 | 1,0000 | 0,0001 | 0,8435 | 1,1414 |
| 17 | 0,1402 | 0,0228 | 0,7320 | 0,0197 | | | | | | |
| 18 | 0,1323 | 0,0215 | 0,7536 | 0,0175 | | | | | | |
| 19 | 0,1266 | 0,0206 | 0,7742 | 0,0160 | | | | | | |
| 20 | 0,1219 | 0,0198 | 0,7940 | 0,0149 | | | | | | |
| 21 | 0,1177 | 0,0192 | 0,8132 | 0,0139 | | | | | | |
| 22 | 0,1128 | 0,0184 | 0,8316 | 0,0127 | | | | | | |
| 23 | 0,1110 | 0,0181 | 0,8496 | 0,0123 | | | | | | |
| 24 | 0,1076 | 0,0175 | 0,8671 | 0,0116 | | | | | | |
| 25 | 0,0940 | 0,0153 | 0,8825 | 0,0088 | | | | | | |
| 26 | 0,0847 | 0,0138 | 0,8962 | 0,0072 | | | | | | |
| 27 | 0,0799 | 0,0130 | 0,9093 | 0,0064 | | | | | | |
| 28 | 0,0767 | 0,0125 | 0,9217 | 0,0059 | | | | | | |
| 29 | 0,0683 | 0,0111 | 0,9328 | 0,0047 | | | | | | |
| 30 | 0,0645 | 0,0105 | 0,9433 | 0,0042 | | | | | | |
| 31 | 0,0605 | 0,0099 | 0,9532 | 0,0037 | | | | | | |
| 32 | 0,0527 | 0,0086 | 0,9618 | 0,0028 | | | | | | |
| 33 | 0,0488 | 0,0080 | 0,9697 | 0,0024 | | | | | | |
| 34 | 0,0374 | 0,0061 | 0,9758 | 0,0014 | | | | | | |
| 35 | 0,0352 | 0,0057 | 0,9815 | 0,0012 | | | | | | |
| 36 | 0,0291 | 0,0047 | 0,9863 | 0,0008 | | | | | | |
| 37 | 0,0247 | 0,0040 | 0,9903 | 0,0006 | | | | | | |
| 38 | 0,0219 | 0,0036 | 0,9938 | 0,0005 | | | | | | |
| 39 | 0,0139 | 0,0023 | 0,9961 | 0,0002 | | | | | | |
| 40 | 0,0109 | 0,0018 | 0,9979 | 0,0001 | | | | | | |
| 41 | 0,0093 | 0,0015 | 0,9994 | 0,0001 | | | | | | |
| 42 | 0,0037 | 0,0006 | 1,0000 | 0,0000 | | | | | | |
| 43 | 0,0000 | 0,0000 | 1,0000 | 0,0000 | | | | | | |

Figure 2 - The pattern of characters on the plane spanned by the factors 1 and 2 of MCA. Character's levels labels are given according to the text.



It is very interesting to observe the large agreement that results at least among five characters: period, dating, production, site of finding, and support. Actually the pattern shows a clear distinction on the first factor between Attic ceramics (distinguished in red and black figures) on the positive site and the other levels on the negative site. On this side an important distinction results between Etruscan production on the positive side of the second factor and other productions (Corinthian, Italic, and Greek) on the negative one.

Figure 3 - The pattern of characters on the plane corresponding to the 2-dimensional solution of JCA. Character's levels labels according to the text.



Indeed, the distribution follows an arch pattern, in agreement with the dating: in the third quadrant the geometric period, the oldest, is found, corresponding to Greek, Italic, and Corinthian production, then in the fourth and first ones the Attic production (in intermediate periods) is found, and eventually the more recent in the second quadrant, corresponding to the Etruscan production.

Unlike the very clear distinctions Etruscan/Attic vs. other productions and Attic ceramics vs. other, the position of the other characters' levels represents rather a tendency, as the levels are not exclusive of a specific period of production. Thus, painting, sculpture, bronze, and glyptic are specific of the Etruscan production, whereas big pots, cups, and pots for ointments are typical of the Attic one.

Table 2 – Sum of absolute residuals of the three analyses, MCA, Re-evaluated MCA, and JCA according to the solutions' dimensions. For each analysis both Total and Off-diagonal residuals are reported.

| Dimen. | MCA | | Re-evaluated MCA | | JCA | |
|--------|-------|--------------|------------------|--------------|-------|--------------|
| | Total | Off-diagonal | Total | Off-diagonal | Total | Off-diagonal |
| 0 | 7170 | 2630 | 7170 | 2630 | 7170 | 2630 |
| 1 | 4465 | 1492 | 4487 | 1487 | 4413 | 1461 |
| 2 | 3840 | 1237 | 3845 | 1219 | 3766 | 1189 |
| 3 | 3598 | 1158 | 3554 | 1106 | 3501 | 1085 |
| 4 | 3224 | 1033 | 3213 | 978 | 3008 | 898 |
| 5 | 2900 | 925 | 2864 | 840 | 2600 | 742 |
| 6 | 2650 | 842 | 2638 | 751 | 2456 | 691 |
| 7 | 2499 | 791 | 2487 | 689 | 2186 | 580 |

On this data pattern the Ajax myth iconography is represented. As it is composed by many elements in sequence, it is interesting to investigate if there is any trend tied with either the factors or the other characters, or both. Indeed, both the Suicide of Ajax and the Transport of Achilles appear in all productions and in all periods, even during the oldest, albeit the second is found with largest frequency within the second half of the VI century and the first half of the V one. Then, Ajax duelling and Dice play appear in the second half of VI century and in the first of the V respectively, keeping present for no more than two centuries particularly in both Attic and Etruscan productions. Both Embassy to Achilles and Arms dispute are present during a century, within VI and V, only in Etruscan and Attic productions. Along time follow Ajax in the hereafter and Ajax with extraneous during V and IV centuries, again in Attic and Etruscan finds, and eventually Ajax among Achaios and Trojans' sacrifice, that appear during the last 150 years and only in the Etruscan production.

DISCUSSION

In Figure 3 all character's levels are represented on the plane corresponding to the two-dimensional solution of JCA. It is evident the little difference between the two analyses' results, as their correlations are larger than .99. Thus, no true difference results in their interpretation.

On the opposite, a different interest may derive from the reconstruction results. In Table 3, the residuals of the various dimensional analyses are reported, computed as the absolute differences between each Burt's table cell's original and reconstructed values. For each method, MCA, re-evaluated MCA, and JCA, the residuals are computed for the total Burt's table and for the off-diagonal subtables only.

It is very interesting to observe that, unlike in [8], the off-diagonal reconstruction residuals of MCA are monotonously decreasing. We do not have an explanation for this, unless considering that in this table the relations between the levels of different characters are much stronger, and the table is filled with many more zeros. Thus, we may hypothesize that the first factors provide explanation for the off-diagonal deviations from expectation too. Indeed, the off-diagonal reconstruction obtained by the re-evaluated MCA is not so better as the previous, a contradiction with [11] suggestion. The off-diagonal re-evaluated MCA residuals decrease a little faster than those of MCA, but not as fast as in the case of JCA: for the 16-dimensional solution they are worth 536, 507, and 172, respectively. Indeed, the JCA solution is really better than the others because its improving keeps regular along the dimensions, whereas both others improvement is progressively slowing.

CONCLUSION

The application of MCA to Ajax myth's data has been proved effective by [1] already, with good results of the following QDA, once all factors had been taken into account. No true difference appears relevant between the 2-dimensional solutions of MCA and JCA, the only that deserve being examined according to Ben Ammou and Saporta test. In this case, the amount of JCA residuals is certainly better but not so much. On the opposite, JCA off-diagonal reconstruction is much more effective than the other methods, when we take into account all the possible dimensions. JCA 16-dimensional solution reports a residual of only 172, a value that may be obtained with MCA by using 32 dimensions, whereas the 16-dimensional solution of the re-evaluated MCA reports a residual of 506 similar to the one of 18 dimensions of MCA. Indeed, an important reduction of dimensions to be used for discriminant analysis purposes seems of high interest. Unfortunately, the JCA implementation in R we used does not provide so far units' coordinates to be used in QDA. A method for providing them is the future step of our investigation.

ACKNOWLEDGEMENTS

This work was done in the framework of the bilateral agreement between Sapienza Università di Roma and Universidade Federal de Rio de Janeiro, of which the authors are promoters. The first author was also granted by the Faculty of Architecture of belonging and from the scientific attaché of Italian Embassy in Buenos Aires. All institutions are gratefully acknowledged.

REFERENCES

- [1] S. Camiz, E. Ferrazza, 2005. Studio sull'iconografia di Aiace Telamonio con metodi di analisi esplorative dei dati. *Archeologia e Calcolatori*, 17, 45-70.
- [2] G. Saporta, 1975. Liaison entre plusieurs ensembles de variables et codage de données qualitatives, Thèse de troisième cycle, Paris VI, Université Pierre et Marie Curie.
- [3] J.P. Benzécri et al., 1982. *L'Analyse des Données*, 2 tomes, Paris, Dunod.
- [4] M.J. Greenacre, 1984. *Theory and applications of correspondence analysis*. London, Academic Press.
- [5] J.M. Romeder, 1973. *Méthodes et programmes d'analyse discriminante*, Paris, Dunod.
- [6] D.J. Hand, 1981. *Discrimination and Classification*. New York, John Wiley and Sons.
- [7] S. Ben Ammou, G. Saporta, 1998. Sur la normalité asymptotique des valeurs propres en ACM sous l'hypothèse d'indépendance des variables. *Revue de Statistique Appliquée*, 46(3), 21-35.
- [8] S. Camiz, G.C. Gomes, 2010. Joint Correspondence Analysis vs. Multiple Correspondence Analysis: a Solution to an Undetected Problem. Submitted to *Proceedings of Cladag 2010*, Springer.
- [9] M.J. Greenacre, 1988. Correspondence analysis of multivariate categorical data by weighted least squares. *Biometrika*, 75, 457-467.
- [10] J.P. Benzécri, 1979. Sur le calcul des taux d'inertie dans l'analyse d'un questionnaire - addendum et erratum à [Bin. Mult.] [Taux Quest.]. *Les Cahiers de l'Analyse des Données*, 4(3), 377-378.
- [11] M.J. Greenacre, 2007. *Correspondence Analysis in Practice*, Second Edition. London, Chapman and Hall.
- [12] O. Nenadic, M.J. Greenacre, 2007. Correspondence analysis in R, with two- and three-dimensional graphics: the ca package. *Journal of Statistical Software*, 20(3), 1-13.
- [13] R-project (2009), <http://www.r-project.org/>

Estructura espacial de la formación de bancos intermareales de la Ostra Invasora *Crassostrea Gigas* en la costa norte de la Patagonia y su relación con un índice de exposición relativa a la energía de las olas

Mauro F. Carrasco (1),

Nilda E. Weiler (1),

Pedro J. Barón (1).

1 Centro Nacional Patagónico (CENPAT) - CONICET, Puerto Madryn, Argentina

carrasco@cenpat.edu.ar

RESUMEN

La ostra del Pacífico *Crassostrea gigas*, un ingeniero ecosistémico capaz de modificar la geomorfología costera marina, fue introducida para su cultivo en la costa Norte de Patagonia en 1982, expandiendo su distribución geográfica a más de 100 km de costa actualmente. Si bien el rango potencial de distribución de la especie, predicho para la costa atlántica de Sudamérica sobre la base de variables térmicas, se extiende aproximadamente entre 28° y 48°S, es posible que la distribución de bancos intermareales revele discontinuidades debidas a factores tales como el tipo de sustrato predominante disponible para su asentamiento, el grado de exposición a la acción de las olas y la salinidad del agua.

En este estudio se relaciona el estado de formación de bancos intermareales con un índice relativo de exposición de la costa a la energía de las olas, dentro su rango actual de distribución geográfica en el Norte de Patagonia. Para ello se estimó el Índice Relativo de Exposición (IRE) en puntos equidistantes 10 km entre sí, desde la desembocadura del río Colorado hasta el extremo norte del golfo San Matías, empleando la rutina REI del programa WEMO v 4 (Wave Exposure Modelling / NOAA). Por otro lado, se clasificó el estado de formación de los bancos intermareales de la ostra ubicados dentro del rango local de distribución geográfica de acuerdo a una escala "ad hoc" basada la proporción de ejemplares vivos de tallas > 30mm de longitud respecto de la totalidad de ejemplares y el patrón de agregación de las mismas en las categorías: 1) formado, 2) en proceso de formación, 3) sin formación. Los resultados indican un predominio de bancos inter-

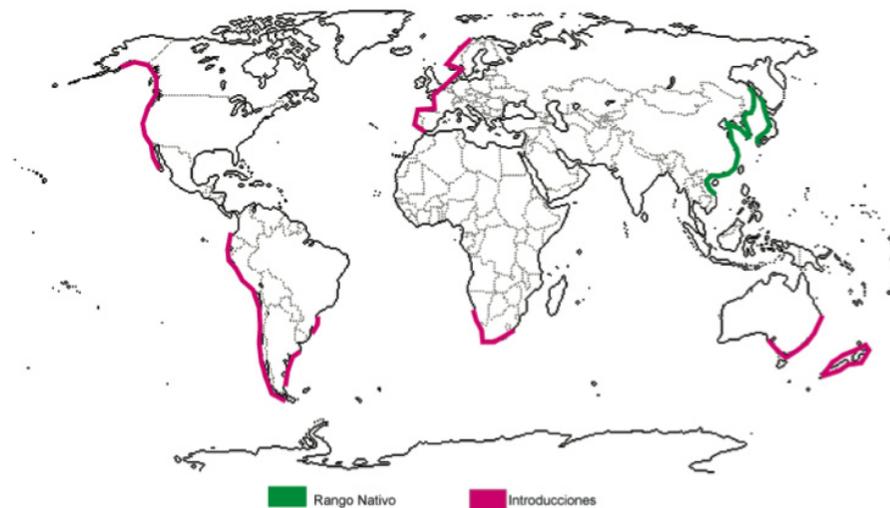
mareales formados en sitios con bajos IRE y la presencia de bancos sin formación en sitios con IRE medios y altos. A partir del uso de esta herramienta se espera predecir la extensión de tramos de la línea costera con mayores probabilidades de formación de bancos intermareales de *C. gigas* a largo plazo.

INTRODUCCIÓN

Las ventajas y desventajas de la introducción de especies no nativas en ambientes con características favorables para su desarrollo con fines comerciales tales como la acuicultura son un tema de debate (<http://www.ices.dk/reports/general/2004/ICESCOP2004.pdf>, http://www.anstaskforce.gov/Documents/OTA_Report_1993.pdf). La discusión está generalmente enfocada sobre los problemas que pueden causar los organismos introducidos a otras especies nativas, sin prestar atención a los efectos que los mismos pueden ocasionar sobre el sustrato que los alberga (Wallentinus & Nyberg, 2007)[1]. En este sentido, el concepto de "ingeniero ecosistémico" es relativamente nuevo (Jones et al., 1994) [2]. Por tal se entiende a organismos que modifican físicamente el medio abiótico directa o indirectamente, ya sea alterando su arquitectura o hasta incluso cambiando la composición del mismo (Jones et al., 1994) [2]. Los ejemplos sobre la acción y los efectos de los ingenieros ecosistémicos sobre sustratos intermareales son abundantes y variados. La meiofauna y macrofauna enterrada en fondos marinos provoca biodeposición, bioturbación y redistribución de los sedimentos, provocando cambios físicos y químicos (Reichelt, 1991[3]; Meadows & Meadows, 1991[4]). Algunas especies de cangrejos

intermareales cavan refugios en el sedimento, provocando un incremento en la tasa de drenaje, el potencial redox y la composición de los sedimentos (Bertness, 1985)[5]. Caracoles del género *Littorina* son conocidos por su capacidad de remover sedimentos acumulados sobre sustratos duros, disminuyendo las tasas de sedimentación sobre los mismos (Bertness, 1984[6]). Algunas algas marinas del género *Corallina* son capaces de cementar detritos, formando una costra externa que protege de la erosión provocada por el oleaje al sustrato duro que la soporta (Anderson, 1992[7]). El poliqueto serpúlido *Ficopomatus enigmaticus* es un formador de arrecifes calcáreos, capaz de provocar cambios estructurales profundos en la dinámica sedimentaria de estuarios (Iribarne & Schwindt, 1998[8]; Orensanz et al., 2002[9]).

Figura 1. Distribución geográfica de *Crassostrea gigas*. Áreas en verde: rango nativo; áreas rojas: rango de introducción



La ostra del Pacífico *Crassostrea gigas* es un ingeniero ecosistémico de tipo autogénico (sus propios tejidos o secreciones son los que modifican físicamente el ambiente) nativo del Pacífico Noroeste que ha sido introducido en los litorales marinos de varias regiones del mundo, incluyendo los de Europa (Portugal hasta Noruega), África, Pacífico-Australasia, América del Norte y América del Sur (Dinamani, 1971[10]; Summer, 1972[11]; Bourne, 1979[12]; Carlton, 1979[13]; Walne & Mann, 1979[14]; Sotomayor & Tapia, 1990[15]; Grizel & Heral, 1991[16]; Arizpe, 1996[17]; Shatkin et al., 1997[18];

Cohen et al., 2000[19]; CIESM, 2000[20]; Griffiths & Robinson, 2003[21]; Diederich et al., 2005[22]; Robinson et al., 2005[23]; Nehring, 2006[24]) (Figura 1).

La especie fue introducida intencionalmente para su cultivo en el norte de Patagonia en 1982 en la zona de balneario Los Pocitos, Provincia de Buenos Aires (Orensanz et al., 2002[9]; http://www.uns.edu.ar/inbiar/ver_especie.asp?especie_id=145). Entre 1987 y 1994 se detectaron los primeros bancos naturales formados por la especie en el litoral de Bahía Anegada (Orensanz et al., 2002[9]; Dos Santos & Borges, 2006[25]). Desde entonces esta especie ha sido explotada comercialmente por los pobladores de la localidad, removiendo en su extracción considerables volúmenes de sustrato (pertenecientes a la plataforma de abrasión de olas donde se encuentran adheridas), con la consecuente modificación del mismo. La distribución de la especie se ha expandido a toda la bahía Anegada. Según información reportada por Orensanz et al. (2002) [9] en 1995 se observó una colonización incipiente de terrazas sedimentarias de origen terciario en la localidad de Los Pocitos, con densidades promedio de 2 individuos m⁻², incrementándose a 3 individuos m⁻² hacia 1996. Hacia 1998-2000, el reclutamiento de juveniles se incrementó marcadamente, reflejándose en densidades de más de 120 individuos m⁻² (Orensanz et al., 2002) [9]. Observaciones preliminares reportadas por los mismos autores indican que la ostra coloniza la zona intermareal media y baja, ocupando sustratos sedimentarios compactados del terciario, pero los juveniles logran fijarse sobre rodados, valvas vacías, la porción basal de plantas halófitas del género *Spartina* y a valvas del mejillín *Brachidontes rodriguezii*. Observaciones preliminares muestran que la especie ha colonizado la costa Norte de la Provincia de Río Negro, alcanzando el golfo San Matías. El riesgo de expansión de la distribución de la especie en el litoral marino argentino puede haberse incrementado debido a que a fines de la década de 1990 se efectuaron translocaciones experimentales de ostras a las localidades de Las Toninas (Provincia de Buenos Aires), Río Gallegos, la bahía de Puerto San Julián y Caleta Olivia (Provincia de Santa Cruz) (Orensanz et al., 2002) [9].

La bahía Anegada presenta una gran variedad de geofomas reconocidas en este tramo costero conforman un ambiente con una dinámica única en la costa argentina y particularmente en la Patagonia. Los rasgos morfológicos costeros que caracterizan este ambiente permiten identificar en cuatro sectores dinámicos diferenciados (Weiler, 2001) [26]. El sector Norte está conformado por costas de baja energía, caracterizadas por extensas islas de barrera con rumbo norte-sur.

Las mismas protegen el tramo de costa ubicado entre ellas y el continente del embate de las olas de mar abierto, formando así un ambiente de albufera. Ello favorece el desarrollo de amplias planicies de mareas constituidas por sedimentos finos (arena fina, limos y arcillas), conectadas con el mar abierto por los estrechos de marea ubicados entre las islas. Por lo tanto este sector costero está dominado por la dinámica mareal, tiene baja energía y el transporte de sedimentos se realiza por medio de los canales de marea. En el sector central sur la energía aumenta y en la zona de loma de Los Tres Bonetes, Balneario de los Pocitos, Loma La Pirámide y hasta Punta Ramírez aparecen acantilados y plataformas de erosión de olas labrados sedimentitas terciarias de la Formación Río Negro (Andreis, 1966) [27]. Los acantilados pierden altura hacia el sur desde 18 m en la Loma de Los de los Tres Bonetes y 6 m en Punta Ramírez. Las playas se caracterizan, por ser más angostas que en el tramo norte y estar compuestas por arenas medianas a gruesas (Monti y Bayarsky, 1996) [28]. En el sector norte de la isla del Jabalí, no hay plataformas de abrasión de olas y las playas son angostas, empinadas y están compuestas por rodados. Hacia el sur de la Isla del Jabalí, más precisamente desde baliza La Ballena hacia la desembocadura del arroyo del Guanaco, se desarrolla una amplia playa de unos 10 km de largo y 1 km de ancho, de baja pendiente y compuesta por arena y grava fina. A partir del Arroyo del Guanaco la zona de playa se angosta, aparece una zona acantilada de baja altura labrada en parte en sedimentitas terciarias y en sedimentos litorales cuaternarios altamente compactados. Hacia el mar, de esa zona acantilada se desarrollan plataformas de abrasión de olas.

Tomando en cuenta que no existen estudios exhaustivos sobre el crecimiento de los bancos de la ostra japonesa en la costa Norpatagónica (Orensanz et al., 2002) [9], y que la especie podría modificar una gran variedad de geoformas de Bahía Anegada, costas aledañas y el litoral marino argentino, resulta de relevancia plantear cuáles son los límites geográficos potenciales de distribución de la especie a largo plazo, y dentro de éstos, cuáles son los tramos costeros con mayor probabilidad de formación de bancos. Para esto es necesario evaluar las características ambientales que regulan el asentamiento de la especie en una localidad en particular.

El modelado de nicho ecológico es una técnica utilizada para determinar qué combinaciones de variables ambientales predicen la presencia ó ausencia de poblaciones estables de diferentes especies dentro de un rango geográfico (MacArthur, 1972) [29]. Por ende, luego de determinar los rangos de las variables ambientales en los que la especie mantiene poblaciones estables, es posible predecir los sitios en los que la especie puede

establecerse en otras regiones. Los límites del rango geográfico que *C. gigas* podría ocupar a lo largo del litoral marino de Argentina han sido evaluados recientemente con esta técnica tomando en cuenta la temperatura superficial del agua de mar y la temperatura atmosférica como únicas variables predictoras (Carrasco y Barón, 2010) [30]. Aún así, otras variables ambientales tales como el tipo de sustrato disponible para el asentamiento larvario y sustento durante el crecimiento, el grado de exposición al oleaje y el régimen salino predominante podrían imponer límites de menor escala espacial a la formación de bancos intermareales.

En estudios previos, se ha reportado que el grado de exposición de la costa a la energía que disipan las olas no sólo es capaz de generar erosión y movimiento de sedimentos (Ekebon et al, 2002) [31] que dan sustento a los bancos de ostras, sino que puede provocar una disminución tanto en el tamaño de los individuos como en su tasa de reclutamiento (Ruesink, 2007) [32]. Por ello, el objetivo del presente trabajo es evaluar la relación existente entre el estado de formación de bancos intermareales y el grado de exposición de la costa a la energía de las olas dentro su rango actual de distribución geográfica en el Norte de Patagonia.

MATERIALES Y METODOS

El presente estudio se llevo a cabo sobre la costa Norte de Patagonia, entre el norte de la Bahía Anegada (39,5°S) y el norte del Golfo San Matías (41,2°S) (Figura 4).

Entre 2008 y 2010 se relevaron 12 sitios con presencia de *C. gigas* en el intermareal. Los mismos se clasificaron de acuerdo a una escala "ad hoc" basada la proporción de ejemplares vivos de tallas > 30mm de longitud respecto de la totalidad de ejemplares y el patrón de agregación de los mismos, en las categorías: 1) formado, 2) en proceso de formación, 3) sin formación (Tabla I) (Figura 2).

Para cada banco intermareal se calculó el Índice de Exposición Relativa (IRE) según la rutina REI del programa WEMo v4 (Wave Exposure Modelling, Malhotra y Fonseca 2007) [33]. Una vez obtenidos los IRE se los dividió en tres categorías de igual extensión (alto, medio y bajo) y se evaluaron las diferencias entre pares de categorías de bancos intermareales en base a su grado de exposición mediante el test no paramétrico de U de Mann & Whithney. Posteriormente se estimó el IRE en puntos equidistantes 10 km entre sí, desde la desembocadura del río Colorado hasta el extremo norte del golfo San Matías y se clasifico a los mismos según las categorías empleadas para los IRE hallados en los bancos intermareales.

Tabla I. Estados de formación de bancos de la ostra *Crassostrea gigas* observados a largo del rango de distribución geográfica en el litoral marino del Norte de Patagonia.

| Estado de formación del banco de ostras | Descripción |
|---|---|
| Formado | La proporción de individuos vivos mayores a 30mm de largo respecto del total es mayor a 2/3. Agregaciones continuas en escalas espaciales de cientos de metros |
| En proceso de formación | La proporción de individuos vivos mayores a 30mm largo respecto del total es mayor a 2/3. Agregaciones continuas sólo en escalas de en escala espaciales de metros |
| Sin formación | La proporción de individuos vivos mayores a 30mm largo respecto del total es menor a 1/3. Individuos aislados ó formando agregaciones continuas en escalas espaciales de centímetros. |

El índice de exposición relativa (IRE) estima el grado de exposición al oleaje de la costa combinando el efecto del viento y el “fetch” (distancia libre sobre la superficie de un cuerpo de agua a través de la cual el viento sopla en una dirección dada sin encontrar obstáculos) según la ecuación:

$$REI = \left(\sum_{i=1}^8 EffF_i V_i D_i \right) / 8$$

Donde:

$EffF_i$ = Fetch efectivo en la dirección i ;

V_i = Velocidad promedio del viento en la dirección i (m/s), y

D_i = Duración promedio del viento en la dirección i (%)

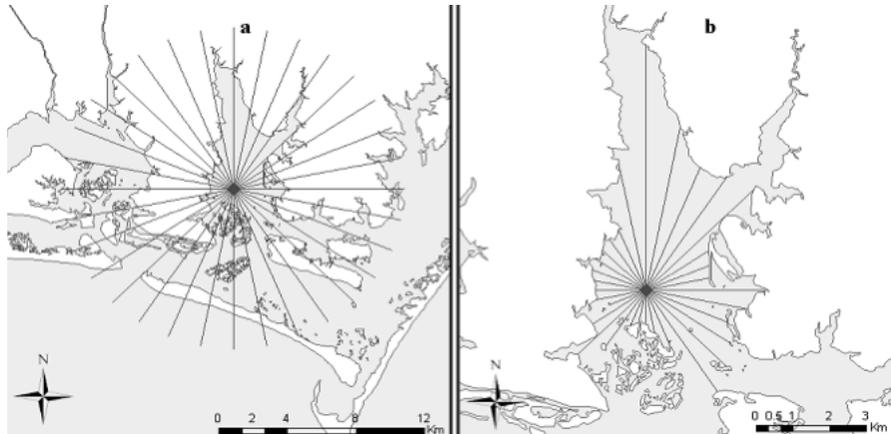
Para correr la rutina REI en WEMo v4 se contó con una base de datos histórica de vientos (velocidad media y frecuencia del viento en cada octante cardinal) de las localidades Patagónicas para un periodo de 10 años provista por el Servicio Meteorológico Nacional y un archivo tipo “shapefile” de la línea de costa que fue construido utilizando como base imágenes satelitales georreferenciadas mediante el uso del programa ArcGIS versión 9.3.

Para obtener el valor de IRE de un punto dado de la línea costera, WEMo v4 calcula el “fetch” en distintas direcciones por generación de rayos desde el sitio de interés y corte de los mismos en la intersección con la línea de costa (Figura 3).

Figura 2 Estado de formación de bancos intermareales: 1) formado, 2) en proceso de formación y 3) sin formación.



Figura 3. Representación del método de cálculo del “fetch” en múltiples direcciones a través de la generación y corte de rayos. a) Rayos sin cortar b) rayos cortados en la intersección con la línea de costa. Reproducido de “WEMo: Formulation, Procedures and Validation” con autorización de autores Malhotra y Fonseca.



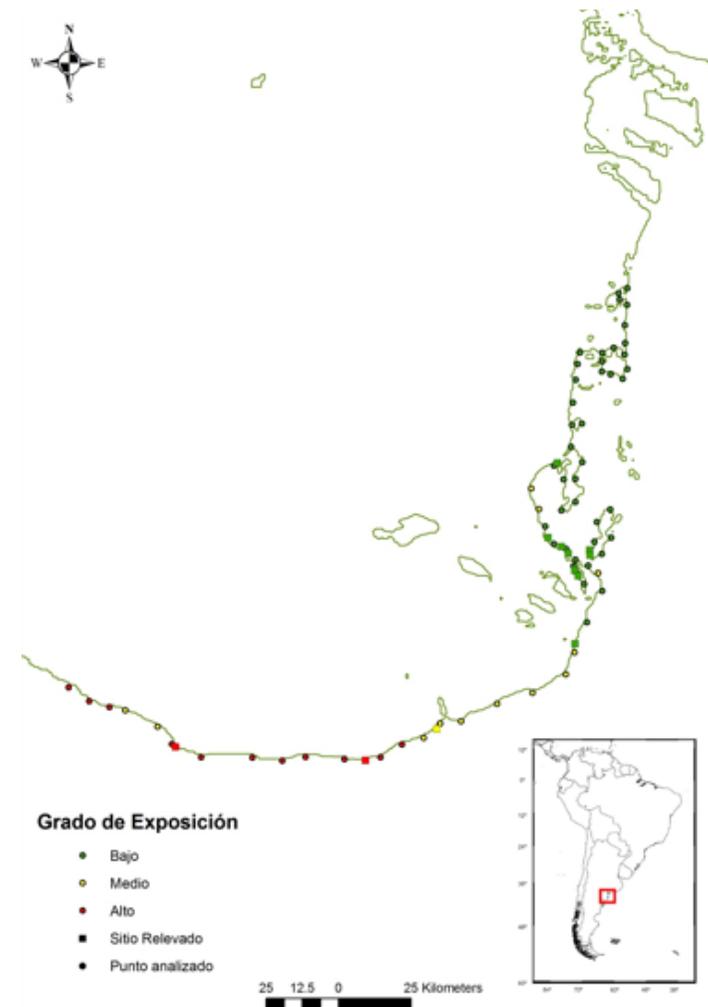
En cada banco intermareal se calculó el IRE según la rutina REI del programa WEMo v4 (Wave Exposure Modelling, Malhotra y Fonseca 2007). Una vez obtenidos los IRE de los 12 puntos de la costa con presencia de bancos, se los dividió en tres categorías (alto, medio y bajo).

Los IRE fueron agrupados por categoría de formación de bancos y se realizó una prueba no paramétrica para contrastar diferencias entre las mismas (Test de Mann y Withney). Posteriormente se estimó el IRE en puntos de la costa equidistantes aproximadamente 10 km entre sí, desde la desembocadura del río Colorado hasta el extremo norte del golfo San Matías y se clasificó a los mismos por su valor de IRE según las tres categorías preestablecidas.

RESULTADOS

De los 12 sitios relevados, 8 presentaron bancos intermareales formados de *C. gigas* y en 4 se observaron ejemplares dispersos de la especie pero sin formación de banco. No se encontraron bancos intermareales en formación. La comparación entre los IRE de bancos intermareales en distintos estado de formación mostró que existen diferencias significativas entre las categorías preestablecidas (U Mann & Withney, $p=0,007$).

Figura 4. Mapa de la línea costera de la región ocupada por *Crassostrea gigas*. Los puntos cuadrados representan las 12 localidades en que se encontraron individuos o bancos intermareales de la especie en distinto estado de formación, para los que se estimaron los IRE. Los puntos circulares muestran sitios equidistantes aproximadamente 10km entre sí para los que se estimaron los valores de IRE a fin de evaluar las posibilidades de formación de bancos intermareales de la especie en función del grado de exposición de la costa a la energía de las olas.



El análisis de los IRE a través de puntos sucesivos a lo largo de la línea costera muestra un gradiente creciente de exposición de Norte a Sur, correspondiendo los sitios menos expuestos a la zona comprendida entre 39,5° y 40,8°S, los sitios con un grado de exposición intermedio a la zona entre 40,8° y 41,1°S y los más expuestos a la que se extiende entre 41,1° y 41,2°S (Figura 4).

DISCUSIÓN

El desarrollo de rutinas informáticas para el cálculo de la exposición de la costa a la energía de las olas es relativamente reciente (Ekeboom et al., 2002)[31]. A partir del este ha sido posible realizar evaluaciones cuantitativas sobre la estructura de las comunidades intermareales, especialmente las correspondientes a fondos rocosos, en sitios con distinto grado de exposición (Burrows et al., 2008)[34]. En un estudio previo, la asociación entre la presencia/ausencia de poblaciones invasoras de la ostra del Pacífico y el grado de exposición de la línea costera fue evaluada para la costa de Tasmania utilizando métodos cualitativos de estimación del grado de exposición de la costa (Mitchell et al., 2000)[35]. Aún así, a partir del uso de herramientas informáticas (SIG y rutinas específicas), el presente estudio muestra una mejora cualitativa respecto del método de evaluación del grado de exposición.

Los resultados obtenidos indican que en el rango geográfico actual de distribución de *C. gigas* en el Norte de Patagonia existe un predominio de bancos formados en sitios con bajos IRE y la presencia de bancos sin formación en sitios con IRE medios. No existen a la fecha registros de presencia de individuos de la especie sobre sustratos expuestos a valores elevados de IRE. Se puede predecir que en el rango de línea de costa correspondiente a la Bahía Anegada se encontrarán bancos más densos y extensos, considerando a esta zona con un mayor riesgo de modificaciones costeras a largo plazo. Hacia el Sur de esta zona, el grado de exposición de la costa a la energía de las olas no permitiría la formación de bancos intermareales, por lo cual su geomorfología no se vería mayormente afectada por la introducción de la especie. Asimismo se observa que el gradiente de exposición observado genera discontinuidades en las probabilidades de formación de bancos a lo largo de la línea costera. Estas discontinuidades no se deben considerar como limitantes naturales de su expansión geográfica dado que la especie posee medios de dispersión natural (etapa planctónica) y puede además ser introducida de una localidad a otra por medios artificiales.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Wallentinus I, Nyberg CD 2007 Introduced marine organisms as habitat modifiers. *Marine Pollution Bulletin* 55: 323-332.
- [2] Jones CG, Lawton JH and Shachak M (1994) Organisms as ecosystem engineers. *Oikos* 69: 373-386.
- [3] Reichelt, A. C. 1991. Environmental effects of meiofaunal burrowing. *Symp. zool. Soc. Lond.* 63: 33-52.
- [4] Meadows J., Meadows, A. 1991. The geotechnical and geochemical implications of bioturbation in marine sedimentary ecosystems. *Symp. zool. Soc. Lond.* 63: 157-181.
- [5] Bertness, M.D. 1985. Fiddler crab regulation of *Spartina alterniflora* production on a New England salt marsh. - *Ecology* 66: 1042-1055.
- [6] Bertness, M.D. 1984. Habitat and community modification by an introduced herbivorous snail. *Ecology* 65: 370-381.
- [7] Anderson, R. A. 1992. Diversity of eukaryotic algae. - *Biodiv. Conserv.* 1: 267-292.
- [8] Iribarne, O.O. & E. Schwindt, 1998. Reef of "*Ficopomatus enigmaticus*" (Polychaeta; Serpulidae) in the Mar Chiquita Coastal Lagoon, Argentina. *Bolletí de la Societat d'Història Natural de les Balears*, 41: 35-40.
- [9] Orensanz, J.M., E. Schwindt, G. Pastorino, A. Bortolus, G. Casas, G. Darrigran, R. Elías, J.J. López Gappa, S. Obenat, M. Pascual, P. Penchaszadeh, M.L. Piriz, F. Scaramino, E.D. Spivak y E.A. Vallarino, 2002. No longer the pristine confines of the world ocean: a survey of exotic marine species in the southwestern Atlantic. *Biological Invasions* 4: 115-143.
- [10] Dinamani P. 1971, Occurrence of the Japanese Oyster *Crassostrea Gigas* (Thunberg), in Northland, New Zealand *New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research* 5(2):352-357.
- [11] Sumner, C. E. 1972, Oysters and Tasmania *Tasmanian Fisheries Research* 6:1-15.
- [12] Bourne, N. 1979, Pacific oysters, *Crassostrea gigas* Thunberg, in *British Columbia and the South Pacific islands IN: Exotic Species in Mariculture*, (Mann, R. eds) *Dep.Fish.Environ., Fish. Mar. Serv. Resour. Serv. Branch, Pacific Biol. Stn. Nanaimo, B.C., Canada.*
- [13] Carlton, J.T. 1979. History, Biogeography, and Ecology of the Introduced Marine and Estuarine Invertebrates of the Pacific Coast of North America. Ph.D. thesis, University of California, Davis CA.

- [14] Walne, P.R., Mann, R.N. 1979, Introduction of *Crassostrea gigas* into the United Kingdom IN: Exotic Species in Mariculture, (Mann, R.N. eds) Dep.Fish.Environ., Fish.Mar.Serv.,Resour.Serv.Branch,Pacific Biol.Stn.,Nanaimo, B.C., Canada.
- [15] Sotomayor, A.H., Tapia, E.U. 1990, Culture of the Pacific oyster *Crassostrea gigas*, in Chile (197701989) Mollusc Culture in Latin America. Memoirs of the Second Meeting of the Technical Working Group, Ancud (Chiloe Island - Chile), 7-11 November 1989 :265-272.
- [16] Grizel, H., Heral, M. 1991, Introduction into France of the Japanese oyster (*Crassostrea gigas*) Journal du Conseil. Councel International pour l'Exploration de la Mer 47:399-403.
- [17] Arizpe, O. 1996. Secondary production, growth and survival of the Pacific oyster *Crassostrea gigas* (Thunberg) in tropical waters, ahia de la Paz, Mexico Journal of Shellfish Research 15(3): 601-607.
- [18] Shatkin, G., Shumway, S.E., Hawes, R. 1997, Considerations regarding the possible introduction of the Pacific oyster (*Crassostrea gigas*) to the Gulf of Maine: a review of global experience Journal of Shellfish Research 16(2):463-477.
- [19] Cohen, B.F., McArthur, M.A., Parry, G.D., 2000. Exotic marine pests in Westernport Marine and Freshwater Resources Institute Report No. 22, Marine and Freshwater Resources Institute, Queenscliff, Victoria 20pp.
- [20] CIESM, 2000. *Crassostrea gigas* CIESM Atlas of Exotic Species in the Mediterranean Sea
- [21] Griffiths, C.L., Robinson, T.B. 2003, Status and impacts of marine alien species in South Africa Proceedings of the Third International Conference on Marine Bioinvasions, La Jolla, California, March 47: 16-19.
- [22] Diederich, S., Nehls, G., van Beusekom, J.E.E., Reise, K. 2005, Introduced Pacific oysters (*Crassostrea gigas*) in the northern Wadden Sea: invasion accelerated by warm summers? Helgoland Marine Research 59:97-106.
- [23] Robinson, T.B., Griffiths, C.L., McQuaid, C.D., Rius, M. 2005, Marine alien species of South Africa - status and impacts African Journal of Marine Science 27(1):297-306.
- [24] Nehring, S. 2006: NOBANIS – Invasive Alien Species Fact Sheet – *Crassostrea gigas*. – From: Online Database of the North European and Baltic Network on Invasive Alien Species - NOBANIS www.nobanis.org.
- [25] Dos Santos, E. y M. Borges, 2006. Rendimiento en carne de la ostra del Pacífico *Crassostrea gigas* en bancos y engordada en sistemas intermareales de Bahía Anegada. Resúmenes de las VI Jornadas Nacionales de Ciencias del Mar, Puerto Madryn, 4 al 8 de diciembre de 2006. P. 175.
- [26] Weiler, N. E., 2001. Evolución de los depósitos litorales de bahía Anegada, Provincia de Buenos Aires, durante el Cuaternario tardío. Tesis Doctoral. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Buenos Aires. 185 p. (Inédito).
- [27] Andreis, R. 1966. Petrografía y paleocorrientes de la Formación Río Negro. Revista del Museo de La Plata. (Nueva Serie) 36: 230-245.
- [28] Monti, A.J.A., A. Bayarsky, 1996. Relación entre las geoformas costeras y los sedimentos de playas del sur de Bahía Anegada, provincia de Buenos Aires. Revista de la Asociación Argentina de Sedimentología, vol. 3 (1):31-42.
- [29] MacArthur, R.H. (1972) Geographical ecology: patterns in the distribution of species. Harper & Row, New York.
- [30] Carrasco M. F., P. J. Barón 2010, Analysis of the potential geographic range of the Pacific oyster *Crassostrea gigas* (Thunberg, 1793) based on surface seawater temperature satellite data and climate charts: the coast of South America as a study case. Biological Invasions 12 (8), 2597-2607p.
- [31] Ekeboom J, Laihonon P y Suominen T 2002 Measuring fetch and estimating wave exposure in coastal areas. In: EUROCOAST (ed) Littoral 2002, The Changing Coast, pp 155-160, EUROCOAST/EUCC, Porto, Portugal.
- [32] Ruesink, J.L 2007 Biotic resistance and facilitation of a non-native oyster on rocky shore, Marine Ecology Progress Series, 331: 1-9.
- [33] Malhotra A., M.S. Fonseca 2007, WEMo (Wave Exposure Model): Formulation, Procedures and Validation. ,Beaufort, NC. NOAA/National Ocean Service/National Centers for Coastal Ocean Science ,(NOAA Technical Memorandum NOS-NCCOS ,65).
- [34] Burrows MT, R Harvey, L. Robb, 2008, Wave exposure indices from digital coastlines and the prediction of rocky shore community structure. Mar. Ecol. Prog. Ser., 353: 1–12.
- [35] Mitchell I., A. Jones, C. Crawford 2000. Distribution of feral Pacific oysters and environmental conditions. Natural Heritage Trust Final Report Project FAP/3077. University of Tasmania. 76Pp.

Avances en el proyecto de medición de gases en el Volcán Peteroa

INTRODUCCIÓN

El Volcán Peteroa forma parte de un complejo ubicado en el sur de Mendoza (35° 15' S, 70° 35' W), en el que se ha detectado actividad volcánica como ser fumarolas, formación de pequeñas lagunas y zonas de derretimiento de hielo. Antes de iniciar el presente proyecto no existían mediciones de gases en el volcán, solo se mencionaba en algún reporte que existía un olor a "huevos podridos" posiblemente por la expulsión de gases de azufre como por ejemplo sulfuro de hidrogeno. Este volcán se encuentra en una zona de difícil acceso y alejada de centros urbanos accesible sólo durante la época estival.

El objetivo final del proyecto es realizar un monitoreo continuo de gases en tiempo real. Estos datos se permitirán ser correlacionados con los datos obtenidos en la estación de emisiones acústicas ubicada en la base del volcán.

DESARROLLO DEL PROYECTO

El proyecto se divide en tres etapas, de ejecución secuencial:

- Primera etapa: Diseñar, y fabricar dos prototipos de monitores de gases autónomos con la finalidad de montarlos en puntos estratégicos del complejo volcánico.
- Segunda etapa: Con los datos recogidos en la primera etapa se seleccionó un lugar de emplazamiento para una estación de monitoreo permanente.
- Tercer etapa: Diseñar, construir y montar una estación de monitoreo de gases permanente con capacidad de transmitir los datos obtenidos en tiempo real.

Pablo Alonso Castillo (1,2), Juan Bonaparte(1),
 Nicolas Nuñez (1), Daniel F. Rodríguez(1),
 Diego Schmidt (1,2), Carlos Rinaldi(1),
 Gustavo Estevez(1,2),

1 Gcia. de Área Investigación y Aplicaciones No Nucleares - Centro Atómico Constituyentes-CNEA

2 Escuela de Ciencia y Tecnología, UNSAM
 drodrig@tandar.cnea.gov.ar

ESTADO DE AVANCE DEL PROYECTO

| Etapa | Estado |
|-------|---------------------|
| 1 | Concluida con éxito |
| 2 | Concluida con éxito |
| 3 | En ejecución |

DESCRIPCIÓN DE LAS ETAPAS DEL PROYECTO

Primera etapa: Durante la fase de ejecución de la primera etapa del proyecto se desarrollaron dos monitores de gases con sensores de temperatura, humedad, CO₂ y H₂S cuyo rango de medición y precisión se muestran en la Tabla 1. La autonomía del monitor de gases es de 60 días realizando dos mediciones por día.

Tabla 1: Principales características de los sensores del prototipo de monitor.

| Parámetro | Rango de medición | Precisión | Unidades | Muestras/día |
|------------------|-------------------|-----------|----------|--------------|
| Temperatura | -40 a 120 | ±0.4 | °C | 2 |
| Humedad relativa | 0-100 | ±3 | % | 2 |
| CO ₂ | 0-4000 | ±100 | ppm | 2 |
| H ₂ S | 0-50 | ±5 | ppm | 2 |

El primer modelo construido, Figura 1, consta de tres secciones principales: Sistema de alimentación: consiste de una batería de 30 celdas de Li-Ion tipo 18650 con sus correspondientes circuitos de protección y control de descarga.

Sistema de adquisición de datos: Está compuesto por un microcontrolador de 10-bits con 13 conversores analógicos digitales para tomar las señales del sistema de sensores. Sistema de sensado: Se basa en la utilización de un tubo de PVC de 50mm de diámetro en cuyo interior están colocados los sensores de gases.

La estructura interna del monitor se detalla en la Figura 2, en donde se puede observar la compartimentación y ubicación de los diferentes sistemas. En la Figura 3 se muestra un esquema del detalle del ducto donde se montaron los sensores de humedad, temperatura, CO2 y H2S.

TRABAJOS DE CAMPO

Se realizaron durante el mes de Marzo de 2009, en dicha oportunidad se emplazaron dos equipos de monitoreo en dos lugares distintos, la primera ubicación denominada "A" se encuentra a pocos metros del puesto de Gendarmería Nacional Argentina. La segunda ubicación, "B", se encuentra un paraje conocido "Termas" a un kilómetro aproximadamente de la locación A. Las ubicaciones de los emplazamientos se puede ver en la imagen satelital, Figura 4.

Figura 1: Monitor de gases especialmente diseñado y construido para el proyecto

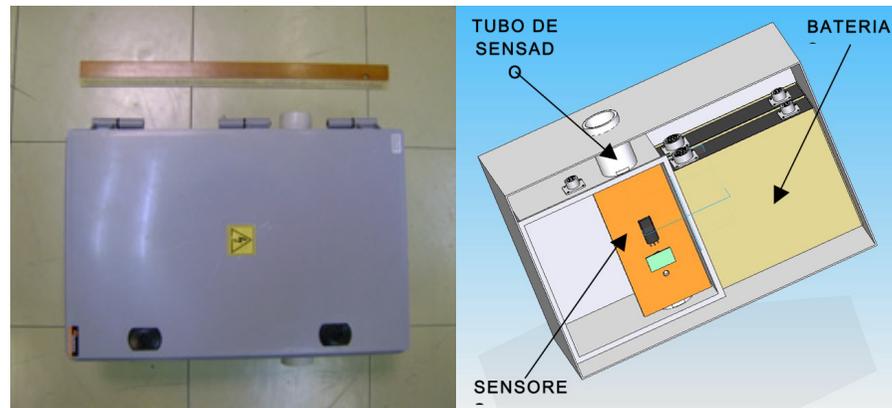
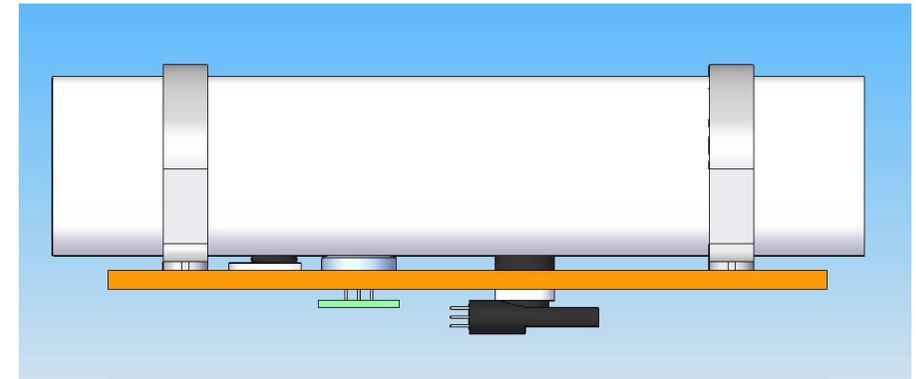


Figura 2: Esquema del monitor de gases en su interior

Figura 3: Detalle del ducto donde se montaron los sensores de humedad, temperatura, CO2 y H2S.



La localidad "B" consiste en una zona de piletones de aguas calientes producto de la actividad geotermal del sistema volcánico. En las proximidades de uno de estos piletones se ubicó el monitor de gases tal como se muestra en la Figura 5.

Figura 4: Imagen satelital de la zona del complejo volcánico Peteroa y emplazamiento de los monitores de gases.



Figura 5: Montaje de uno de los monitores de gases en la ubicación "B"



RESULTADO DE LOS TRABAJOS DE CAMPO

Los niveles de CO₂ detectados son fluctuantes pero de un valor muy superior al normal para una zona sin contaminación (figura 5), esto es debido a los gases producto de la actividad volcánica. Los niveles de H₂S son del orden de los 10 ppm la mayoría de los días (figura 6).

La concentración de CO₂ es posiblemente un buen indicador de la actividad volcánica en el volcán Peteroa. Prácticamente no hay interferentes por la actividad humana ya que es una zona alejada.

SEGUNDA ETAPA

En esta etapa se realizó durante el verano 2010 durante un mayor número de días que la campaña anterior y se emplazó el monitor en la ubicación "B". Para disminuir el consumo al mínimo se utilizaron los sensores de Temperatura, Humedad y CO₂, pero no el

de H₂S que tenía un gran consumo. En la figura 7 se grafica la concentración de CO₂ en función del número de medición; se realizó dos mediciones por día. Es importante destacar que algunos días el sensor de CO₂ llega al nivel máximo de concentración que puede detectar.

Figura 5: Concentración de CO₂ en función del número de medición en la ubicación "B".

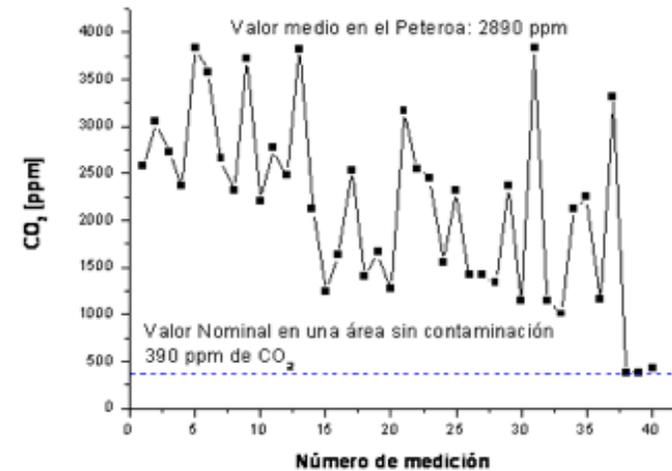


Figura 6: Concentración de H₂S en función del número de medición en la ubicación "B".

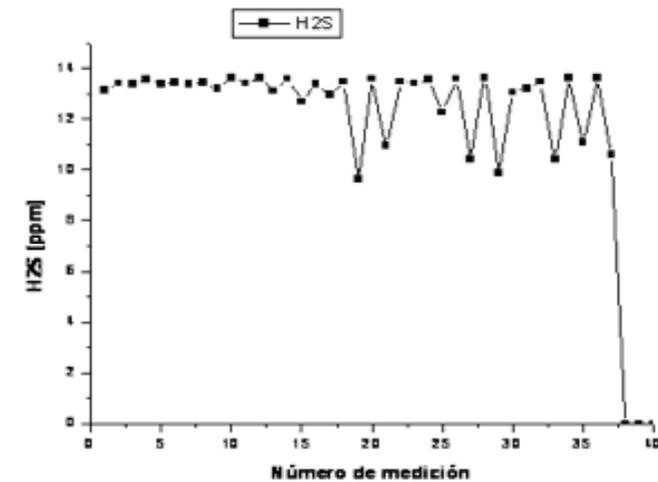
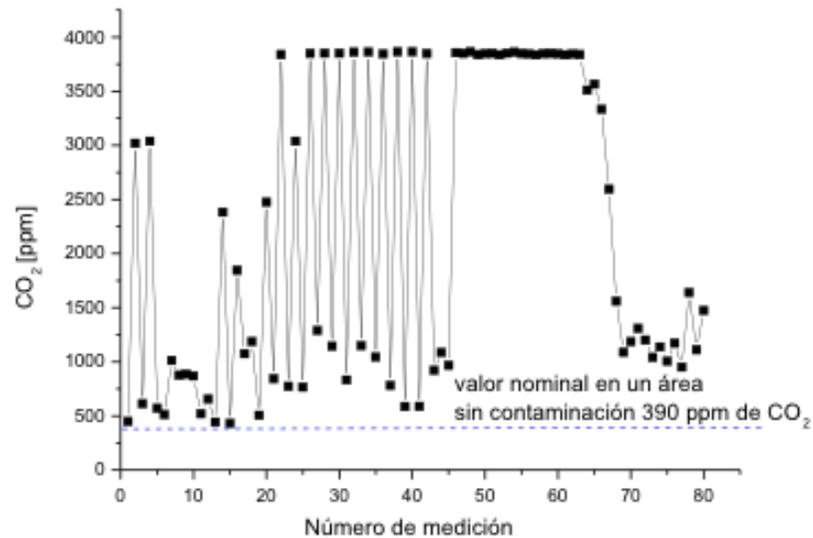


Figura 7: Concentración de CO₂ en función del número de medición

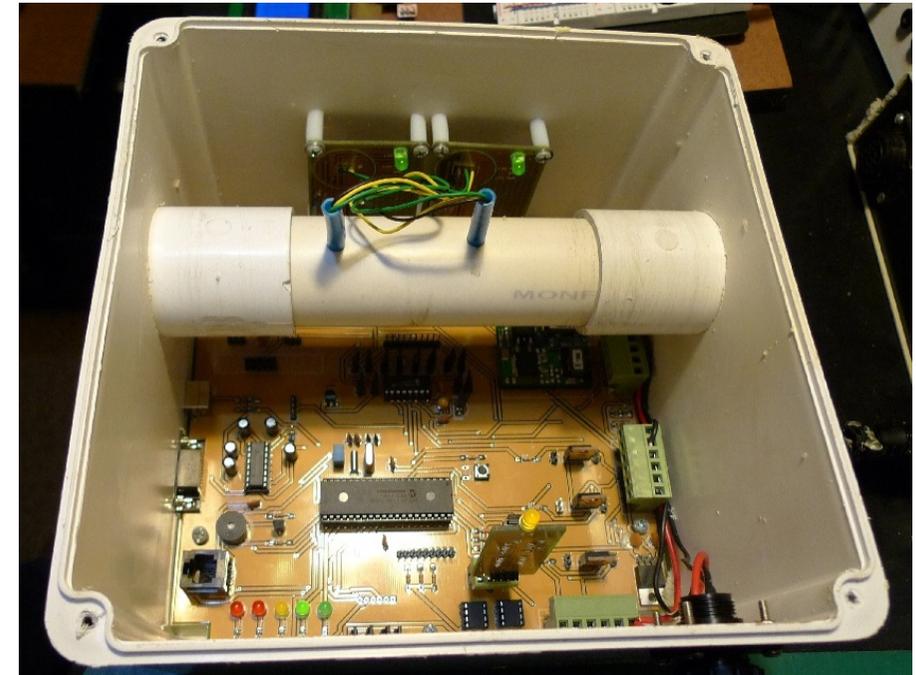


TERCERA ETAPA

Se mejoró la electrónica de control del monitor de gases permitiendo configurar la administración de sensores, servicios de comunicación y potencia. Además de tomar parámetros de interés vulcanológico permite auto testearse y llevar un registro de las condiciones de trabajo del mismo monitor y de los servicios asociados a ella (temperaturas internas, balance y calidad de energía suministrada por paneles solares, arreglos de baterías, consumo de periféricos de comunicaciones, etc.) asimismo permite seleccionar zonas y dar de alta o baja periféricos en función de criterios de durabilidad, estabilidad, consumo o mal funcionamiento de los sensores o servicios asociados (figura 8).

Los datos adquiridos se almacenan por duplicado en una doble memoria interna removible y también se pueden enviar en tiempo real. Los datos a registrar son: temperatura ambiente, temperatura de terma, ph de terma, humedad ambiente y la concentraciones de los gases: CO₂, H₂S.

Figura 8. Vista del interior del monitor de gases donde se puede observar la electrónica de control y el ducto de alojamiento de los sensores del monitor perteneciente a la tercera etapa.



CONCLUSIONES

Las mediciones realizadas en las campañas 2009 y 2010 nos permitieron encontrar el lugar de emplazamiento de la estación de monitoreo de gases permanente y afirmar que la concentración de CO₂ es posiblemente un buen indicador de la actividad volcánica en el volcán Peteroa pero será necesario complementar los datos que actualmente se obtienen de una estación de emisiones acústicas en la base del volcán (que permite medir la actividad sísmica de volcán) y una estación meteorológica.

Modelo de ondulaciones geoidales en base a nodales para el centro-norte de Santiago del Estero

RESUMEN

El desarrollo de modelos de geoide, que permita la transformación de la información altimétrica satelital en valores de cota, ha cobrado importancia en los últimos años. Así se han desarrollado modelos a diferentes escalas (globales, regionales y locales) tanto en el mundo como en nuestro país. Pero al tratarse de un problema de comparación de una superficie física (geoide) con otra de carácter geométrico (elipsoide), los estudios de otra región no puedan generalizarse ni extrapolarse, por lo tanto un modelo local debe surgir de observaciones in situ.

En este trabajo presentamos un modelo de ondulaciones geoidales de carácter regional para la zona centro-norte de la provincia. Para el desarrollo del mismo se utilizó como datos de base las alturas de los nodales de las diferentes líneas de nivelación de primer orden que atraviesan el territorio de la provincia de Santiago del Estero, las que fueron ejecutadas y materializadas por el Instituto Geográfico Militar. Así se determinó las alturas elipsoidales de dichos nodales con GPS doble frecuencia. Estos datos se integraron para generar el modelo regional. Finalmente el modelo fue validado utilizándose puntos de control, diferentes de los usados para generar el modelo. Los valores obtenidos resultan altamente satisfactorios dentro de los pocos decímetros.

Este es el primer paso tendiente a lograr modelos locales que posibiliten transformar la información altimétrica satelital, a valores de cota, para que a partir del mismo se pueda con una simple medición en diferencial de GPS obtener en cualquier punto de la provincia una altura sobre el nivel medio del mar con precisión para ejecutar cualquier obra o anteproyecto de ingeniería.

**Pablo D. Ciappino(1),
José E. Goldar(1),
José F. Paste(1),**

**Walter D. Costa (1)
José E. Moreno(1)**

1 Universidad Nacional de Santiago del Estero – Facultad de Ciencias Exactas y Tecnologías -Departamento de Agrimensura - Av. Belgrano (S) Nº 1982, CP 4200, Ciudad Capital - Santiago del Estero – Argentina

pciappino@yahoo.com.ar, jegoldar@unse.edu.ar

INTRODUCCION

La ondulación del geoide, resulta de la comparación de dos superficies de referencia de alturas conceptualmente distintas, una matemática (elipsoide) y otra física (geoide). Para determinar la altura de un punto sobre cada una de estas superficies, se emplean diferentes métodos, con instrumental específico para cada caso. Así, para la determinación de alturas sobre la superficie equipotencial del geoide (nivel medio del mar), cotas ortométricas en primera aproximación H (Huerta et al., 2005), se emplean los métodos de nivelación geométrica o trigonométrica, según sea el grado de precisión que se desea alcanzar; en cambio las alturas elipsoidales h, se determinan mediante el empleo del posicionamiento satelital.

La diferencia entre estas dos alturas es lo que se conoce como "ondulación del geoide" y su valor adquirió una importancia preponderante con la generalización del uso del posicionamiento satelital en los trabajos de topografía y geodesia, la que a su vez fue promovida por ser el sistema que mejor conjugan velocidad y precisión en la adquisición de datos espaciales, aunque estas ventajas no puedan ser aprovechadas en toda su dimensión, debido a que, en los datos altimétricos obtenidos existe discordancia en cuanto a sus superficies de referencia. Esta discordancia entre la información de alturas genera, en la actualidad, estudios e investigaciones en el país y el mundo, tratando de lograr concordancia entre los datos altimétricos que se consiguen con los receptores GPS y aquellos que se emplean generalmente en las aplicaciones topográficas para obras y proyectos de ingeniería, en donde los valores de altimetría se obtienen de las nivelaciones convencionales ya sea geométrica o trigonométrica.

En la actualidad, existe un sinnúmero de modelos de geoide de diferentes regiones y con distinto grado de precisión que permiten la transformación de altura de una superficie a otra, pero como los estudios que se realizan en una determinada zona no pueden ser extrapolados a otra, debido a que el problema surge de la comparación de dos superficies, que no necesariamente resultan paralelas por cuanto una de ellas depende de condiciones locales tales como la distribución de masas, entonces el modelo local debe surgir de observaciones in-situ.

En este trabajo se presenta un modelo de ondulaciones del geoide (N), para la región centro-norte de la Provincia de Santiago del Estero. El mismo fue calculado a partir de puntos de los que conocemos las alturas con respecto a sendas superficies de referencia, obteniendo de este modo la ondulación del geoide del punto en cuestión y por interpolación el modelo en la región.

DESARROLLO

Para desarrollar el modelo regional de ondulaciones geoidales se seleccionaron, recopilaron y determinaron, según el caso, un conjunto de datos altimétricos compuesto por alturas sobre el nivel medio del mar (s.n.m.m.) (H) y alturas elipsoidales (h), para la región Centro-Norte de la Provincia de Santiago del Estero, la cual se encuadra entre los paralelos de 25° 40' y 28° 40' de Latitud Sud y posmeridianos de 62° 10' y 65° 15' de Longitud Oeste.

Los valores de alturas s.n.m.m. se obtuvieron de los Nodales extremos de las Líneas de Nivelación de Primer Orden que atraviesan la Provincia de Santiago del Estero y de algunos puntos fijos de las mismas, las cuales fueron medidas y materializadas en su momento, por el IGM (Instituto Geográfico Militar) hoy IGN (Instituto Geográfico Nacional). En la Tabla I, se muestra el detalle de las diferentes líneas de nivelación, su recorrido y la cantidad de puntos fijos que contiene cada una; en la Tabla II los Nodales extremos de las líneas utilizados para la generación del modelo con su ubicación, alturas y valores calculados de ondulación.

Tabla I. Líneas de Nivelación pertenecientes a la Red Nacional Primer Orden en Santiago del Estero

| Nº de Línea | Recorrido | Cantidad de Punto Fijos |
|---|--|-------------------------|
| 141A (Termas de R. Hondo-Santiago del Estero) | La línea parte del punto fijo N°29 de la línea N192 al Nodal N°184 | 18 |
| 141B (Tucumán-Santiago del Estero) | La línea parte del Nodal N°198 al punto fijo N°26 de la línea N198 | 22 |
| 181 (Hoyon-San Antonio de La Paz) | La línea parte del Nodal N°178 al Nodal N°171 | 61 |
| 182 (Santiago del Estero-Hoyon) | La línea parte del Nodal N°184 al Nodal N°178 | 38 |
| 183 (Santiago del Estero-San Pedro de Guasayan) | La línea parte del Nodal N°184 al Nodal N°183 | 42 |
| 189 (San Antonio de La Paz-San Pedro de Guasayan) | La línea parte del Nodal N°171 al Nodal N°1183 | 36 |
| 192 (Tucumán-San Pedro de Guasayan) | La línea parte del Nodal N°198 al Nodal N°183 | 53 |
| 198 (Santiago del Estero-Rapelli) | La línea parte del Nodal N°184 al Nodal N°203 | 63 |
| 212 (Joaquín V. González-Rapelli) | La línea parte del Nodal N°212 al Nodal N°203 | 55 |
| 303 (Joaquín V. González-Rapelli) | La línea parte del punto fijo N°3 de la línea N198 al Nodal N°195 | 66 |

Tabla II. Nodales Extremos de las Líneas de Nivelación

| Nodal | Coordenadas Planas | | Coordenadas geodésicas | | Altura s.n.m.m. | Altura sobre elipsoide | Ondulación del Geoide |
|---------------------------|--------------------|------------|------------------------|-------------------|-----------------|------------------------|-----------------------|
| | X | Y | Latitud (sur) | Longitud (oeste) | | | |
| Tucumán (198) | 7030964,74 | 4281956,07 | 26° 49' 58,48378" | 65° 11' 35,72005" | 423,960 | 453,330 | 29,370 |
| San Antonio (171) | 6798381,39 | 4295513,11 | 28° 55' 56,53048" | 65° 05' 49,20661" | 269,010 | 295,990 | 26,980 |
| Santiago (184) | 6926835,70 | 4376326,78 | 27° 47' 02,19158" | 64° 15' 17,20039" | 183,930 | 209,400 | 25,470 |
| Quimili (195) | 6942733,78 | 4557505,19 | 24° 38' 41,81834" | 62° 25' 02,19262" | 133,449 | 158,023 | 24,574 |
| Hoyon (178) | 6833334,63 | 4406196,89 | 28° 37' 47,79244" | 63° 57' 33,35468" | 117,265 | 143,696 | 26,431 |
| Rapelli (203) | 7080665,50 | 4350005,27 | 26° 23' 36,42579" | 64° 30' 11,23753" | 398,405 | 426,485 | 28,080 |
| Joaquín V. González (212) | 7222447,27 | 4386602,81 | 25° 07' 02,22199" | 64° 07' 27,56200" | 376,949 | 405,290 | 28,341 |
| San Pedro (183) | 6906650,63 | 4286821,66 | 27° 57' 17,04603" | 65° 09' 57,92567" | 377,401 | 405,441 | 28,040 |

Sobre estos nodales y algunos puntos fijos de las líneas, se realizaron la determinación de alturas elipsoidales con receptores GPS marca Trimble modelo R6, geodésico de doble frecuencia, ampliable a una solución GNSS, sin cables e integrado en una sola unidad.

Este instrumental esta equipado de 72 canales de rastreo R-Track, tecnología Bluetooth y comunicación sin cables entre el receptor y el controlador TSC2 y posee una precisión nominal para levantamientos GNSS Estático y Estático Rápido de:

3mm + 0,1 p.p.m. RMS en Horizontal
3,5mm + 0,4 p.p.m. RMS en Vertical.

Todas las determinaciones de Altura elipsoidal se realizaron mediante el método diferencial estático, utilizándose como estaciones de base a las Estaciones Permanentes de la Red RAMSAC mas cercanas a los nodales y puntos fijos en cuestión. Así se emplearon, de acuerdo a la metodología del trabajo, las Estaciones permanentes TERO, la cual se encuentra ubicada en la Dirección General de Catastro de Santiago del Estero; TUCU en la Provincia de Tucumán; UNSA, situada en la Universidad Nacional de Salta y CATA en la Provincia de Catamarca, mientras que como remoto se utilizó, el receptor GPS TRIMBLE R6 cuyas características técnicas se mencionaron precedentemente. Las observaciones se realizaron, en todos los casos, midiendo un vector de observación de 2 horas de duración.

Con los valores de ambas alturas, de todos los puntos, se obtuvo una grilla de valores puntuales de ondulaciones geoidales, los cuales fueron interpolados con SURFER para generar el modelo de ondulaciones basado en nodales.

CONTRASTACIÓN

Para la contrastación de este modelo regional creado, se utilizaron treinta puntos medidos en el "modelo de ondulaciones geoidales a nivel local" (Goldar et. al. 2007), el cual cubre una superficie de 306 km² en la zona sur de la ciudad capital de Santiago del Estero y se encuentra totalmente incluida en el área de influencia del modelo regional.

Los puntos de contrastación se introducen con sus coordenadas planimétricas y su ondulación medida y el SURFER proporciona valores residuales que se corresponden con la ondulación calculada por el modelo para esa ubicación. Así se obtuvieron los valores para los 30 puntos de control utilizados en la contrastación, los que se presentan en la Tabla III. Por su parte en la Tabla IV, se resumen los valores estadísticos de la contrastación.

Tabla III. Puntos de Contrastación del Modelo

| Punto | X | Y | Ondulación medida | RESIDUAL Ondulación S / modelo | Diferencia |
|----------|---------|---------|-------------------|--------------------------------|------------|
| 487 | 6912965 | 4389911 | 24,800 | 24,317 | 0,483 |
| 489 | 6913647 | 4389339 | 25,090 | 24,351 | 0,739 |
| 490 | 6914683 | 4388528 | 25,060 | 24,439 | 0,621 |
| 491 | 6915517 | 4388256 | 25,080 | 24,449 | 0,631 |
| 492 | 6916485 | 4387913 | 25,100 | 24,470 | 0,630 |
| 493 | 6916738 | 4387787 | 24,920 | 24,457 | 0,463 |
| 495 | 6918999 | 4387036 | 25,150 | 24,561 | 0,589 |
| 497 | 6920909 | 4385596 | 25,230 | 24,713 | 0,517 |
| 498 | 6921960 | 4384872 | 25,750 | 24,721 | 1,029 |
| 499 | 6922600 | 4384471 | 25,600 | 24,796 | 0,804 |
| 500 | 6923112 | 4384154 | 25,620 | 24,803 | 0,817 |
| 502 | 6924913 | 4382750 | 25,700 | 24,941 | 0,759 |
| 504 | 6927589 | 4380303 | 25,440 | 25,170 | 0,270 |
| 507 | 6928691 | 4378350 | 25,920 | 25,257 | 0,663 |
| Miski | 6928614 | 4377458 | 25,370 | 25,309 | 0,061 |
| Curva | 6928754 | 4377184 | 25,410 | 25,342 | 0,068 |
| Puente | 6928061 | 4376592 | 25,210 | 25,381 | -0,171 |
| Aguirre | 6927262 | 4376752 | 25,160 | 25,343 | -0,183 |
| Nodal | 6926835 | 4376327 | 25,400 | 25,352 | 0,048 |
| PF1-N182 | 6924468 | 4376788 | 25,828 | 25,349 | 0,479 |
| PF 2 | 6924129 | 4376956 | 25,674 | 25,333 | 0,341 |
| PF 3 | 6923016 | 4377147 | 25,683 | 25,342 | 0,341 |
| PF 6 | 6922526 | 4378282 | 25,671 | 25,268 | 0,403 |
| PF 8 | 6920298 | 4378832 | 24,951 | 25,255 | -0,304 |
| PF 9 | 6919248 | 4379388 | 24,899 | 25,219 | -0,320 |
| PF 10 | 6917996 | 4379905 | 24,797 | 25,161 | -0,364 |
| PF 12 | 6915922 | 4381002 | 24,824 | 25,054 | -0,230 |
| PF 13 | 6915365 | 4381522 | 24,798 | 25,049 | -0,251 |
| PF 14 | 6914623 | 4382041 | 24,772 | 25,016 | -0,244 |
| PF 17 | 6911564 | 4382246 | 24,794 | 24,988 | -0,194 |

Tabla IV. Valores Estadísticos de la Contrastación

| | |
|----------------------------|----------------|
| Valor Promedio | 0,434 m |
| Desviación Standard | 0,258 m |
| Diferencia Máxima | 1,029 m |
| Diferencia Mínima | 0,171 m |

CONCLUSIÓN

En atención a los valores que suministra la contrastación, puede concluirse que el modelo es aplicable dentro de un margen de tolerancia del orden de los 70 cm, valor muy satisfactorio y que puede perfeccionarse mucho con la densificación de los puntos que se utilizaron en la generación del modelo. Este modelo regional es el primer paso para lograr, mediante la densificación de los puntos generadores, modelos locales. Estos posibilitarán la transformación de la información altimétrica satelital -rápida y fácil de obtener- a valores ortométricos. De esta manera se podrá obtener con precisión una altura sobre el nivel medio del mar en cualquier punto de la provincia, a partir de una simple medición diferencial GPS. Esto beneficiará el diseño y ejecución de cualquier obra de ingeniería dentro del área del modelo.

REFERENCIAS

- Goldar, E., P. Ciappino, W. Costa y J. Paste: Modelo de ondulaciones geoidales en una zona de planicie de Santiago del Estero. Investigaciones en Facultades de Ingeniería del NOA. Tomo I. Capítulo III, 46-51, 2007.
- Huerta, E., A. Mangiaterra y G. Noguera. 2005. GPS Posicionamiento satelital. UNR Editora. Rosario – Argentina.
- Hoyer, M., 1993. Procedimiento Altimétrico para el Calculo del Geoide. Publicación del Consejo Nacional de Cartografía de Venezuela. Caracas, Venezuela.
- López Amador, S., 2003. Desarrollo de un Modelo de Geoide para la Comunidad Autónoma de Madrid. MAPPINGINTERACTIVO Nº 84, artículo 209. <http://www.mappinginteractivo.com>
- Rodríguez, R. y Paccino, M. (1999): Un Modelo de Geoide de Precisión para la Provincia de Santa Fe – República Argentina. International Geoid Service Bull., 9: 123-134.

Entre la vida del barrio y la potencia del zanjón: condiciones, fatalismos y posibilidades de la remediación ambiental

RESUMEN

En este trabajo se discuten resultados de investigación que estamos llevando a cabo, desde un enfoque multidisciplinar que involucra a las ciencias sociales y naturales, en un territorio hiperdegradado de José León Suárez (Pcia. de Buenos Aires) donde se entrecruzan degradación ambiental y extrema pobreza urbana. Abordaremos las condiciones, muchas veces vistas como fatalismos, que actúan en la producción del riesgo ambiental y que afectan a la población que nace y vive en esos barrios. Proponemos que cualquier estrategia de remediación en territorios socio-ambientalmente hiperdegradados supone partir de la vida en el barrio que lucha por mejorar sus condiciones de vida.

Así, mientras el "zanjón" sintetiza la suma de todos los males del barrio, es, justamente, de la vida que allí consigue abrirse camino que pueden plantearse procesos de mitigación de la contaminación. Propondremos, por ello, una estrategia de remediación que, alejándose de posiciones "visionarias" que buscarían atacar directamente las causas últimas de la contaminación, comience por trabajando en el zanjón. Ello porque los microorganismos del agua y del suelo degradan desde contaminantes orgánicos hasta sustancias inocuas, y plantas acuáticas y terrestres filtran y retienen metales pesados y otros contaminantes, generándose una intrincada red de reacciones capaces de remediar el ambiente. En nuestra investigación exploramos el potencial de una planta acuática flotante (*Salvinia biloba*) y de tres especies bacterianas aisladas del "zanjón" como biosorbentes de ciertos contaminantes tales como colorantes y tensoactivos. Se explora también, mediante el uso de *Escherichia coli* como marcador de contaminación aplicada a estudiar el estado de la precaria red de distribución de agua del lugar.

**Gustavo Curutchet (1,4),
Silvia Grinberg (2,4),
Ricardo Gutierrez (3,4).**

1 Centro de Estudios Ambientales. Escuela de Ciencia y Tecnología y 3iA. Universidad Nacional de San Martín. Martín de Irigoyen 3900 San Martín.

2 Escuela de Humanidades. Universidad Nacional de San Martín. Martín de Irigoyen 3900 San Martín.

3 Escuela de Política y Gobierno. Universidad Nacional de San Martín. Martín de Irigoyen 3900 San Martín newgutix@gmail.com

4 CONICET.

e-mail: gcurut@gmail.com

INTRODUCCIÓN

La gestación de las villas miseria se remota a la primera mitad del siglo XX. Sin embargo, es desde finales de los años setenta que comienzan a crecer en un ritmo tan constante como traumático. Traumático en tanto en un período no mayor a 15 años estos espacios que estaban vacíos, constituían bañados, totorales, tambos, esto es, espacios escasamente poblados y que en el recuerdo de los vecinos eran lugar de juego, recreación, pesca, etc., se transformaron en espacios densamente poblados, y en el presente con alto índices de contaminación [1] [2] [3] [4].

El crecimiento de estos espacios urbanos no constituye un elemento aislado. Luego de años de crisis socio-económicas que se tradujeron en la constante de pauperización de la población uno de los efectos más claros en las metropolis urbanas ha sido el crecimiento de los espacios urbanos hiperdegradados [5]. Este trabajo se propone abordar desde una perspectiva multidisciplinaria el estudio en territorio de este conjunto de nuevas problemáticas. Se trata de comprender las formas en que se está configurando la vida de la población en barrios pobres emplazados sobre rellenos sanitarios, bañados y cuencas de ríos con altísimos niveles de contaminación. Entendemos que, en estas condiciones de vida, el medioambiente no es una variable que pueda ser aislada sino que establecen las condiciones de vida de la población. Así, la pregunta es acerca de las condiciones socio-ambientales y las posibilidades de poner en marcha procesos de remediación. En este marco José León Suárez constituye en el área metropolitana de Buenos Aires una de las zonas periféricas que combinan altos niveles de pobreza con altos niveles de contaminación ambiental.

El Partido de San Martín y, en especial, José León Suárez se encuentra en la cuenca de uno de uno de los ríos de la Provincia de Buenos Aires más conflictivos en cuanto a su calidad de agua, el Río Reconquista, considerado como el segundo río más contaminado de nuestro país. Si bien su composición va deteriorándose ya en los tramos superiores, principalmente por efluentes de tipo orgánico (cloacales) antes de ingresar al Partido de San Martín, el río recibe una importante carga de contaminantes aportados por el arroyo Morón, tanto de origen urbano como industrial. En efecto, su cuenca aporta el 33% de la contaminación del Río de la Plata, donde desemboca, y de cuyas aguas se abastece a 14 millones de personas de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires y la Provincia de Buenos Aires. Las experiencias en el tema de manejo de los distintos recursos relacionados con un área geográfica en particular revelan la necesidad de tomar decisiones basadas en conocimientos científicos a los efectos de proteger tanto el ecosistema como las condiciones de vida de la población; en este caso un ecosistema de tipo urbano. En estudios previos se han encontrado altas concentraciones de diferentes contaminantes tóxicos para la salud humana. Estos compuestos provienen en particular de la industria del papel, curtiembres, metalúrgicas y tintorerías, muchas de las cuales vierten sus efluentes en el agua o a la atmósfera, ya sea directamente sin tratamiento alguno o bien con tratamientos deficientes [6] [7]. El aporte de efluentes cloacales y aguas servidas provenientes de descargas domiciliarias via colectores pluviales tiene también un papel importante en la contaminación del río.

Seguidamente, la calidad de las aguas subterráneas ha disminuido por la intrusión de elementos nocivos como los plaguicidas, detergentes, microorganismos patógenos, nitratos y nitritos (provenientes de la utilización de "pozos negros" y de las actividades agrícolas), por la presencia de basurales y por el aumento de la concentración de sales como consecuencia de la reducción de su volumen. Los sedimentos de ríos y arroyos actúan como sumideros para sustancias tóxicas (metales pesados, contaminantes orgánicos) y consecuentemente los materiales dragados contienen con frecuencia niveles elevados de contaminantes [8] [9] [10] [11] [12]. Estos sedimentos dragados son depositados generalmente en la ribera debido a los costos de su disposición final. En condiciones óxicas, los sedimentos con una cantidad suficiente de sulfuros pueden generar problemas de drenaje ácido y liberación de metales pesados por la generación de sulfatos, consecuencia de la oxidación. En sedimentos anaerobios, la formación de sulfuros en áreas contaminadas con importantes concentraciones de metales pesados que pueden combinarse con los mismos, pueden oxidarse y liberar metales junto a la acidez.

Trabajos previos han demostrado el potencial de acidificación y liberación de metales en sedimentos del río Reconquista y cursos de agua de características similares. ([10] [11] [12]).

En directa relación es importante tener en cuenta que si bien los problemas ambientales constituyen una de las problemáticas más complejas de las actuales condiciones de vida urbana y que requieren miradas que integren conocimientos provenientes de distintas disciplinas aún son muy escasos los estudios que procuran una comprensión que aborde la preocupación ambiental como problema social.

PLANTEO DEL PROBLEMA E HIPÓTESIS

1. Pese a que la concientización ambiental suele identificarse con movimientos sociales de clase media, los grupos más pobres son los más expuestos a los problemas que trae la exposición a ambientes contaminados en tanto estas atraviesan las condiciones de vida en el territorio, las Instituciones y los sujetos.
2. Para ser efectivo, un plan de remediación local requiere: diagnóstico socioambiental del estado del territorio; desarrollo de tecnologías adecuadas para el proceso; participación activa de la población afectada así como la participación de las autoridades y organismos responsables de las políticas urbanas cuya ausencia en estos espacios urbanos está en el origen de los problemas ambientales.

DISEÑO Y MÉTODOS EXPERIMENTALES

Descripción de las condiciones socioambientales del barrio

Se realizó un trabajo etnográfico que involucra estancias largas en el barrio realización de entrevistas en profundidad con los vecinos y con los líderes del barrio. Asimismo se trabajó en un taller de producción de video documental con estudiantes secundarios que viven el barrio en el que expresan sus preocupaciones, modos de ver y habitar el barrio, así como los modos de resolver la sustentación de las familias.

La contaminación, la provisión de agua potable así como por la basura son temas que aparecen en todas las conversaciones con los habitantes del barrio. Así, por ejemplo, cuando iniciamos el taller en la escuela al preguntarles a los estudiantes sobre qué temas les gustaría trabajar en un documental todas las imágenes de aquello que deseaban mostrar se encontraban ligadas con la basura, entre otras: el CEAMSE (lugar al que van a

buscar comida), el zanjón y los basurales que están alrededor. Esto mismo ocurre cuando uno comienza una conversación con los vecinos, la primera cuestión que aparece es la basura y la contaminación de agua y suelo. De forma que la preocupación sobre el medioambiente más que un eje que se formula en la investigación es el eje para la comprensión de la vida del barrio.

DETERMINACIÓN DE CARGA CONTAMINANTE EN AGUAS

Determinación de contaminación fecal en aguas de red y residuales

Se determinó presencia de bacterias coliformes fecales (*E. coli*) por cultivo en placas con medio EMB (Merck) a 44 grados centígrados. La presencia de colonias con aspecto verde metalizado es característica de esta bacteria marcadora de contaminación fecal. Para estimar la carga orgánica se determinó la demanda química de oxígeno (DQO) según Métodos estandarizados para el análisis de aguas [14].

Estimación de la capacidad de autodepuración de las aguas del "zanjón"

Se utilizaron datos propios obtenidos en la zona en estudio conjuntamente con datos obtenidos en varias campañas estacionales realizadas al río Reconquista durante 2007-2009 en el marco de un proyecto prioritario de UNSAM, las cuales una estación de muestreo está ubicada sobre el canal José León Suárez en su desembocadura en el Reconquista ([13]), aproximadamente 4,2 Km aguas debajo de nuestro sistema de estudio. Como se puede apreciar en la imagen satelital, el canal José León Suarez se forma con la confluencia del "Zanjón" con otro colector pluvial que desciende desde la villa "Curita" de características similares a la "Carcova". Aguas debajo de la confluencia no hay asentamientos, ni descargas por lo que ese trayecto puede suponerse como un gran biorreactor de depuración. Para estas estimaciones preliminares de velocidades de depuración y reaeración se utilizó el sencillo modelo de Streeter Phelph [16]

Determinación de la resistencia y capacidad de retención/degradación de colorantes y otros contaminantes por plantas acuáticas aisladas en la zona y bacterias aislados del "Zanjón"

Se recolectaron ejemplares de *Salvinia biloba* de un pequeño humedal que se encuentra comunicado con el "Zanjón" aguas abajo del puente del ferrocarril. Estas pequeñas plantas acuáticas de la familia de las Salviniaceae, son helechos flotantes distribuidos por regiones tropicales y subtropicales de toda América. Son plantas sin raíces verdaderas, con pequeños tallos ramificados, con numerosas hojas redondeadas, pilosas, pe-

cioladas, achatadas y flotantes. Prefieren los hábitats con agua estancada con presencia de detritos, luz difusa y temperaturas cálidas.



Estas plantas se mantuvieron creciendo y se multiplicaron en cultivos hidropónicos usando agua de red de clorinada en un invernadero.

Para las experiencias de fitorremediación se decidió en base a observaciones previas que mostraban contaminación con colorantes industriales sobre el "Zanjón" [13] utilizar un colorante puro (violeta cristal) como contaminante modelo. Se utilizaron recipientes plásticos cilíndricos con 300 ml de solución de violeta cristal a diferentes concentraciones (0, 10, 50, 75, 100 mg/l). A cada concentración se hizo un control sin plantas. Se utilizó en cada sistema 15 g de plantas (peso húmedo). El pH fue regulado inicialmente en 7.5. Se midió la evolución temporal de la concentración de colorante por espectrofotometría visible. El metabolismo de las plantas (consumo de dióxido de carbono y producción de oxígeno en condiciones de iluminación y a la inversa en oscuridad) fue medido con electrodos específicos de medición en fase gas (Vernier)

Para las experiencias con bacterias, se aislaron 3 especies por estriado en agar nutritivo y posteriores repiques en medio nutritivo (glucosa y peptona) sólido y líquido. Se caracterizó a las cepas aisladas morfológica y bioquímicamente (coloración de Gram y test API 20E (Biomérieux)). Se realizaron experiencias de biosorción del colorante modelo violeta cristal sobre cultivos de las 3 especies aisladas utilizando un rango de concentraciones entre 0,5 y 50 mg/l por incubación de 2 ml de suspensión bacteriana con el colorante y separación luego del equilibrio por centrifugación. Experiencias de resistencia y biodegradación de colorante se realizaron por incubación en frascos de una suspensión bacteriana en medio nutritivo con agregado de diferentes concentraciones de colorante entre 0 y 50 mg/l. Se realizaron en todos los casos blancos sin bacterias. El colorante se midió espectrofotométricamente y la biomasa por turbidimetría que a su vez fue calibrada con el método de peso seco. [15]

Los experimentos de determinación de presencia de bacterias coniformes y fotorremediación con plantas acuáticas flotantes se han replicado en el laboratorio de la única escuela media pública diurna de José León Suárez "Esteban Echeverría", a la que concurre un alto porcentaje de alumnos residentes en Carcova y que han mostrado fuerte inquietud en el estudio de la problemática ambiental del barrio y su posibilidad de remediación. Se ha entrenado a los alumnos y a sus profesores en los fundamentos y metodología a utilizar y se ha equipado parcialmente al establecimiento para que estas prácticas pasen a formar parte de la curricula formal de la escuela. El objetivo es establecer un Observatorio Medioambiental permanente con sede en la escuela donde alumnos residentes en Carcova u otros de los barrios aledaños apoyados por docentes puedan monitorear algunos parámetros tan importantes como el estado de la red de agua potable.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En particular, el territorio en estudio en este trabajo abarca unas 50 hectáreas de terreno totalmente ocupadas por un asentamiento con basamento en un terreno relleno con residuos que ha levantado la cota unos dos metros con respecto al nivel original del bañado. La altura del terreno desciende notablemente en dirección sur-norte quedando circunscripto por dos cursos de agua: "El Zanjón" (afluente del canal José León Suárez que desagua en el Río Reconquista mas adelante) hacia el NE y un pequeño canal que bordea las vías de ferrocarril hacia oeste. Hacia el sur, el asentamiento continúa cada vez con mayor altura y mejor calidad de construcción hasta confundirse con típicos barrios urbanizados de José León Suárez.



El "Zanjón", sus terrenos aledaños y en menor grado pero en proporción creciente el terreno desocupado al oeste de las vías son zonas de descarga de residuos diferentes características y procedencias. Estos por momentos obstruyen totalmente el curso de agua con lo que se producen desbordes e inundaciones ante lluvias fuertes.



La cuestión de la basura, de hecho, constituye un problema más complejo de lo que a simple vista puede pensarse. Los basureros de Suárez tienen una historia más larga que las villas allí radicadas. El cirujeo y los basurales se remontan a mediados del siglo XX. De modo que incluso un programa oficial con las mejores intenciones que procurara retirar la basura no conseguiría resolver la cuestión. La basura es fuente de contaminación pero también es fuente de reproducción material de la vida de la población: la gente come de la basura, cartonea, recicla y vende.

Otro aspecto particular del lugar es la provisión de agua potable y la descarga de las aguas servidas. La provisión de agua potable constituye un ejemplo claro acerca de cómo los sujetos buscan los modos de resolver e incluso mejorar sus condiciones de vida y de hecho atender a sus necesidades. El tendido de agua de la empresa de agua potable sigue la línea de una calle, quizá, irónicamente llamada Central. De ahí en más los vecinos del barrio pusieron en marcha un complejo sistema de red de mangueras a través de la que consiguen tener en cada casa agua potable. Así aunque de un modo precario e incluso improvisado resuelven situaciones que si bien son cruciales para la vida cotidiana no suelen recibir respuesta oficial.

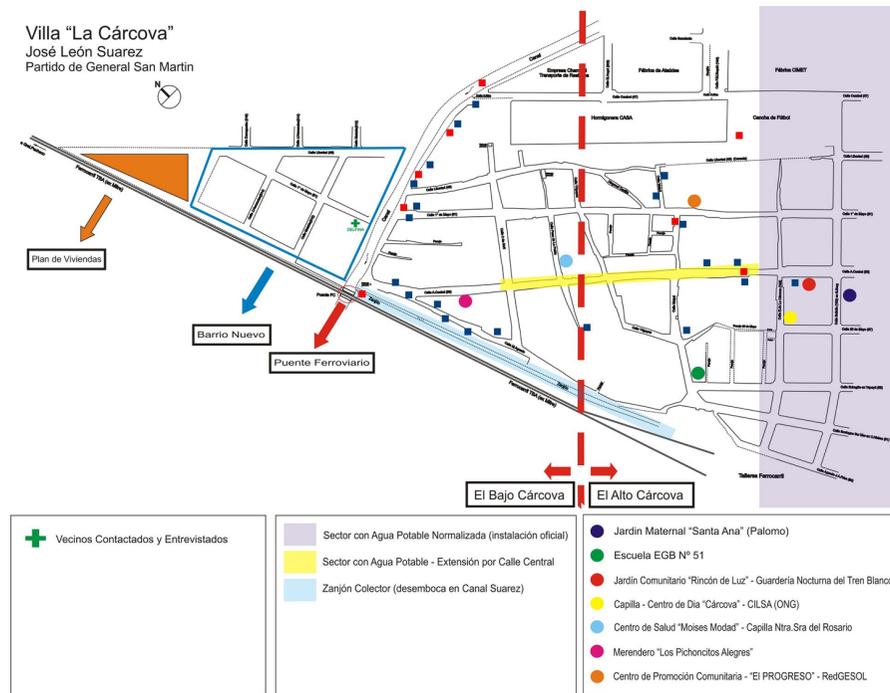
Esta red de agua sospechada de contaminación presenta rasgos particulares: las mangueras de distribución de plástico quebradizo presentan fragilidad ante pinchaduras y cortes y corren directamente por las zanjas de desagüe. Aspectos que incrementan fuertemente el riesgo de contaminación del agua. Asimismo, si bien las casas suelen tener pozos negros, es tanta la densidad de esos pozos que colapsan e irremediamente las aguas servidas terminan siendo derivadas a las zanjas o canales que confluyen en el zanjón. Sin embargo, y a pesar de las convicciones de los vecinos respecto de la contaminación de las aguas, como se plantea a continuación las pruebas de laboratorio no han mostrado contaminación fecal en el agua de red.

Se tomaron 23 muestras de agua de canilla en diferentes casas del lugar (cuadrados azules en el mapa). Se privilegiaron las zonas más bajas y alejadas de la distribuidora "central" por considerarse a estas las zonas de mayor fragilidad ante la contaminación. Cabe resaltar que la presunción de contaminación del agua funciona como una "verdad operativa" para todos los vecinos del barrio; sensación que se acrecienta en la medida que uno se acerca a los zanjones.



Sin embargo, y a pesar de aquello que para el barrio es una verdad acabada, ninguna de las muestras mostró presencia de bacterias coliformes fecales, resultado que aunque muy grato, es sumamente sorprendente. Las zanjas por donde drenan las aguas servidas (por las que también corren las mangueras de distribución de agua potable) también fueron muestreadas (cuadrados rojos en el mapa) y mostraron presencia muy abundante de bacterias coliformes fecales, lo que demuestra que por las zanjas no sólo corren las aguas de cocina y lavado de ropa sino también aguas fecales de descarga de baños.

Todas las aguas servidas drenan siguiendo la pendiente hacia el canal situado al oeste del asentamiento junto a las vías que desemboca en el "Zanjón" junto al puente del ferrocarril o directamente al "Zanjón". El Zanjón recibe aproximadamente 1 Km aguas abajo otro pluvial de similar caudal proveniente de villa "Curita" formando el canal José León Suárez que desemboca en el río Reconquista 4,2 km aguas abajo del terreno estudiado. El caudal observado en la descarga varía entre 2,5 y 0,9 m³/hora y muestra una conductividad mucho menor y una concentración de sólidos suspendidos ligeramente mayor que la que ya trae el río. La carga orgánica medida por DQO promedia los 30 mg/l [13]. Estos parámetros son notablemente mejores que los observados en nuestro terreno de estudio. Así las DQO de las zanjas de desagüe oscilan su valor entre 350 y 1000 mg/l y los valores en el canal y el "Zanjón" están cercanos a los 100 mg/l.



La presencia de colorantes en el zanjón cambia disminuye drásticamente su concentración (comprobada visualmente) desde que sale a cielo abierto hasta estar prácticamente sin color en las inmediaciones del puente ferroviario.

Considerando una velocidad lineal de corriente de 0,2 m/seg en todo el recorrido, un elemento de volumen considerando flujo pistón tardaría 5,8 horas en llegar al Reconquista. Utilizando una aproximación de primer orden para la estabilización de materia orgánica $dL/dt = kL$ donde L es la carga orgánica expresada en unidades de DQO, con los datos mencionados anteriormente se obtiene una velocidad específica de estabilización (k) de 0,2 h⁻¹ resultado que significa que la capacidad de autodepuración del sistema es formidable.

Llegado este punto resulta central señalar que en el caso de que se proceda con el entubamiento del canal, la capacidad de autodepuración se vería seriamente comprometida y la descarga de contaminantes en el río Reconquista aumentaría notablemente. Esto adquiere especial importancia ya que la planificación oficial (ver plan estratégico del

Partido de San Martín) para estas áreas involucran en todos los casos el entubamiento de estos arroyos. De hecho, en algunos casos como es en Villa Hidalgo se encuentran finalizando esta obra.

De forma que para el mejoramiento del ambiente, el zanjón constituye un ejemplo claro. Frente a esas propuestas y acciones oficiales que tiendan a entubar el arroyo entendemos central propiciar acciones de remediación basadas en la capacidad reconstituyente de la vida (biota) presente en el zanjón. Ello porque los microorganismos del agua y del suelo degradan desde contaminantes orgánicos hasta sustancias inocuas, y plantas acuáticas y terrestres filtran y retienen metales pesados y otros contaminantes, generándose una intrincada red de reacciones capaces de remediar el ambiente. En nuestra investigación exploramos el potencial de una planta acuática flotante (*Salvinia biloba*) y de tres especies bacterianas aisladas del "zanjón" como biosorbentes de ciertos contaminantes tales como colorantes y tensoactivos.

Los resultados de las experiencias llevadas a cabo con plantas acuáticas y bacterias autóctonas en laboratorio son también muy alentadores.

Las bacterias, dos cepas de cocos G(-) y un bacilo G(-) muestran resistencia a concentraciones del colorante estudiado un orden de magnitud superiores a las encontradas en el zanjón. La capacidad de adsorción encontrada de alrededor de 350 mg/ g de biomasa es muy adecuada para utilizar esta biomasa previamente inmovilizada como biofiltro. Una de las cepas estudiadas además mostró una interesante capacidad de biodegradación del colorante.

Los ensayos con *Salvinia* mostraron que las plantas tienen una altísima resistencia a concentraciones de hasta 75 mg/l de violeta cristal. Incorporan rápidamente a la biomasa distribuyéndose por todo el tejido. En alrededor de 40 horas disminuyen a cero la concentración de colorante en solución en soluciones de 10 mg/l soportando hasta 4 ciclos de reposición de la concentración inicial. Sus parámetros metabólicos de fotosíntesis y respiración no se ven seriamente afectados en las concentraciones estudiadas.

Si bien los estudios realizados tienen el carácter de preliminares y a partir de sustancias modelo, permiten suponer que un biofiltro de plantas acuáticas flotantes, conjuntamente con bacterias inmovilizadas por ejemplo en la misma matriz arcillosa-orgánica

que forma el fondo del zanjón, podría ser un excelente método de acelerar aún más la velocidad de degradación/retención de contaminantes, tanto cloacales como industriales (colorantes) que se hallan presentes en el Zanjón, Una vez que las plantas han saturado su biomasa con las sustancias a tratar, se las puede separar del curso de agua fácilmente y disponerlas en camas de compostaje donde se completarán los procesos de degradación.

CONCLUSIONES

El estudio, diagnóstico socioambiental y diseño de estrategias de remediación en un ambiente urbano hiperdegradado, tal como las villas miseria de los márgenes del Río Reconquista es un problema de una complejidad inmensa. Aún realizando un abordaje interdisciplinario desde miradas tan diferentes y complementarias como la que se muestra en este trabajo, la red de interacciones sociales, ambientales y políticas desarrollada sobre el territorio es tan fuertemente intrincada que dificulta el desarrollo de procesos de remediación eficientes.

Sin embargo se puede establecer que:

- Es imprescindible la participación de la población en el diagnóstico y en el diseño y desarrollo de acciones de mitigación y remediación.
- La fuerza de la población en la búsqueda de soluciones para sus necesidades y problemas es una potencia fundamental en la búsqueda de soluciones a los problemas socioambientales. Esto no implica de ninguna manera una disculpa ante la desidia oficial y/o de sus ineludibles obligaciones para con la población que para estos barrios nunca han sido contempladas. Sin embargo, este planteo supone que para el desarrollo de estos planes se requiere centralmente de la potencia, fuerza y capacidad de la población para definir, establecer y organizar sus necesidades.
- En la misma línea de pensamiento, la autodepuración del ambiente por la biota propia del lugar (plantas, microorganismos) tienen una potencialidad de aplicación enorme para desarrollar in situ de manera ecológicamente amigable y sin impactos negativos los procesos de remediación necesarios para mitigar el impacto de la contaminación.
- Este artículo muestra fundamentalmente un diagnóstico realizado sobre el terreno durante tres años de trabajo y algunas propuestas acerca de direcciones a seguir para llegar a desarrollar un proceso de remediación a partir de una visión integral del problema. La etapa siguiente será implementar en campo alguna de las acciones propuestas.

REFERENCIAS

- [1] Grinberg 2008 "Schooling in contexts of extreme poverty in 21st century Argentina: Curricular practices and everyday life school in shantytowns". American Educational Researchers Association. Annual AERA meeting. New York. 24-29 march. 2008.
- [2] Grinberg, "Políticas y territorios de escolarización en contextos de extrema pobreza urbana." Revista archivos de Ciencias de la Educación, UNLP, ISSN: 0122-7823, 2010. "Schooling and Desiring Production in Contexts of Extreme Urban Poverty. Everyday Banality in a Documentary by Students: Between the Trivial and the Extreme." Gender & Education, 0954-0253, Routledge, London. 2010.
- [3] Curutchet, G (2008a). "Mecanismos de acidificación y liberación de metales por cambios redox en sedimentos anaeróbicos del Río Reconquista". V Congreso Iberoamericano de Física y Química Ambiental. Mar del Plata. Argentina.
- [4] Curutchet (2008b) Especiación de metales en sedimentos anaeróbicos del río Reconquista y evaluación de su impacto como partículas atmosféricas II Congreso Argentino de la Sociedad de Toxicología y Química Ambiental (SETAC) Mar del Plata, Noviembre de 2008.
- [5] Davies, M. (2008) Planeta de ciudades miseria, Foca, Madrid
- [6] Salibián A. (1996) Calidad del agua del Río Reconquista: segunda etapa en el monitoreo físico, químico y biológico. En, Zalazar RH (ed.) Instituto Provincial del Medio Ambiente y Gobernación de la Provincia de Buenos Aires. Cuencas Hídricas, Contaminación, Evaluación de Riesgo y Saneamiento. 108-109.
- [7] Topalián M. L., Castañé P. M., Rovedatti M. G. y Salibián A. (1999) Principal Component Analysis of Dissolved Heavy metals in Water of the Reconquista River (Buenos Aires, Argentina). Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology 63:484-490. Springer-verlag. N. Y. Inc. 1999.
- [8] Cappari, G. 2009. Evaluación de la calidad ambiental de la cuenca del río Reconquista en el partido de San Martín mediante estudios ecotoxicológicos de aguas y caracterización de sedimentos. Tesis de licenciatura en Análisis Ambiental. ECyT UNSAM.
- [9] Di Gregorio, D.E. et al. (2007). "210Pb dating of heavily contaminated drainage channel to the La Plata estuary in Buenos Aires, Argentina". Applied Radiation and Isotopes. 65. 126-130. 2007.
- [10] Di Nanno, M.P. et al. (2007) Anaerobic sediment potential acidification and metal release risk assessment by chemical characterization and batch re-suspension experiences. Journal of Soils and Sediments. 7 (3) 187-194. 2007.
- [11] Ferraro, S. 2010, Metales Pesados y Toxicidad de Partículas Atmosféricas Prove-

nientes de Erosión Eólica de Sedimentos del Río Reconquista. Tesis de licenciatura en Biotecnología.. ECyT UNSAM

- [12] Ferraro S., Tasat D., Curutchet G. 2009. Fractionation of Metals in Anaerobic Sediment Samples from Reconquista River and Assessment of its Biological Impact as Atmospheric Particles. SETAC North America 30th Annual Meeting.
- [13] Nader, G. 2009. Modelización del Transporte de metales en el río Reconquista (entre ex ruta 8 y Panamericana): Etapas de conceptualización, formulación y calibración. Tesis de licenciatura. ECyT UNSAM.
- [14] Díaz De Santos. (1992). Métodos normalizados para el análisis de aguas potables y residuales. APHA AWWA.
- [15] Guz, L., 2010. Adsorción de colorantes sobre bacterias presentes en plantas de tratamiento biológico. Tesis de licenciatura EcyT UNSAM.
- [16] Kiely, G. 2002. Ingeniería Ambiental Mc Graw Hill.

Ecosistema urbano. Verde urbano Mendoza

RESUMEN

Las ciudades, manifestaciones múltiples y diferentes de las expresiones de la vida humana han enfrentado en las últimas décadas los impactos de la globalización que han generado nuevas condicionantes. Hoy, a nivel mundial, los parques urbanos son planeados como un elemento prioritario para realizar una correcta y equilibrada gestión urbana. No obstante esta consideración, a la hora de concretarse el manejo ambiental de estos espacios verdes, es poco valorado el conjunto de aportes que los mismos hacen a la sustentabilidad de los ecosistemas urbanos. Históricamente los parques respondieron a arquetipos convencionales de creación, diseño y hasta de manejo. La tendencia actual plantea dos nuevas alternativas para estos espacios: una, en búsqueda de lo estético y fugaz de su impacto y la otra, con un aumento de intervenciones creciente, como una variable sostenida de contribución ecológica. Es por esta disyuntiva que se plantea necesario responder al interrogante ¿Cuál es el aporte que los espacios verdes y los parques urbanos producen en los ecosistemas urbanos?

INTRODUCCION

La ciudad como ecosistema urbano

La ciudad se aprecia como una manifestación múltiple y sistémica de relaciones entre las personas y un sitio físico común. Ella crea sus propias condiciones ambientales, lumínicas y de paisajes independientes del entorno, donde hablan el mismo lenguaje y aceptan una autoridad común en convivencia no igualitaria pero, generadora de riqueza y de servicios que se acordó en llamar cultura urbana. Por esta razón, se la puede entender como un ecosistema donde el habitante y sus sociedades forman un subsistema dentro de la misma.

El espacio urbano, ciudad, contiene una comunidad de organismos vivos en un medio físico que se transforma por las actividades internas de intercambios y permiten todo tipo de originalidad para favorecer las innovaciones.

**Arq. Dora De Pascual (1),
Arq. Alberto M. Cutropia (2).**

1 Instituto de Investigación de la Facultad de Arquitectura, Urbanismo y Diseño, UM

2 Departamento de Investigaciones Científicas y Tecnológicas y Vinculación, UM
dora_de_pascual@hotmail.com

Pero, el ciudadano a menudo se encuentra descontento e incluso, las ventajas de la ciudad le producen insatisfacción, a tal punto que a veces el medio laboral y el urbano son causa de estrés y conduce a sus habitantes a las llamadas enfermedades de la civilización. El hacinamiento, la criminalidad, la inseguridad y la contaminación son los nuevos problemas de las sociedades urbanas. Tienen multiplicidad de factores e interrelaciones que repercuten incluso más allá de la mancha urbana y estos deterioros socio-ecológico se han tratado de resolver mediante la creación y el manejo de jardines, plazas, parques públicos, cinturones ecológicos y espacios viales arboladas para reducir las inequidades de las grandes urbes.

Por ello los árboles urbanos tienen una importancia preponderante en las ciudades y particularmente en las de climas subtropicales áridos, porque contribuyen a resolver los conflictos ambientales, socioculturales y hasta económicos. Estos seres vivos vegetales han dado muestras de sus aportes en los procesos de modificaciones ecosistémicas sustentables por el significado trascendente que adquirieron para la comunidad urbana. Su concentrada masa verde contribuye a la transformación ambiental, mejora la calidad de vida, fortalece de la vida cotidiana, permanecen en el paisaje y favorecen la definición de la fisonomía urbana local. Permiten la materialización del ecosistema urbano-verde urbano.

Ecosistema urbano

La ciudad entendida como ecosistema es una comunidad de organismos vivos en un medio físico que se transforma por la actividad interna de intercambio de materia, de energía y de información. Su principal característica se debe a los extensos recorridos horizontales de los recursos: agua, alimentos, electricidad y combustibles que explota de otros ecosistemas pudiendo llegar a provocar importantes desequilibrios territoriales. El modelo de intercambio de materia y energía de las ciudades es opuesto al de un ecosistema natural ya que en éstos los ciclos son muy cortos y el transporte de materias

y energía es eminentemente vertical. El intercambio gaseoso que en los ecosistemas naturales se reduce a la fotosíntesis y la respiración, en el caso de la ciudad incluye los gases de la combustión de calefacciones, coches e industrias provocando desequilibrios en ambos ecosistemas.

Dentro de los ecosistemas culturales merecen un análisis particular los ecosistemas agroproductivos que tradicionalmente han permitido la sostenibilidad de los asentamientos humanos, hasta que la revolución industrial generó un cambio en la escala territorial de los sistemas urbanos implantando redes para facilitar el transporte horizontal de los diversos abastecimientos necesarios para la vida de las ciudades y la disposición final de los desechos que esta producen.

Origen del asentamiento urbano – ecosistema urbano

La ciencia que estudia el asentamiento de las poblaciones humanas, la Equística, cimienta sus estudios en cinco principios que se pueden hallar desde los orígenes de los asentamientos hasta el día de hoy y pueden ser equiparados con los principios que rigen un ecosistema urbano. “En la formación de los establecimientos humanos concurren cinco elementos: la naturaleza (clima, suelo, vegetación, fauna, recursos minerales, agua...) es el continente, el hombre es el contenido, que forma grupos sociales o sociedades, con estratificación social, desarrollo económico, salud y bienestar, cultura y educación. El grupo social crea, para protegerse, refugios o “casarones” (casas, escuelas, hospitales, industrias) unidos por redes (distribución de agua, de electricidad, sistemas de transporte o de comunicación, alcantarillado) ciudades.” Una combinación bien equilibrada entre continente y contenido representa una creación lograda de un ecosistema urbano. Un ejemplo de la aplicación de los principios equísticos lo representa la ciudad de Mendoza por la maximización de sus contactos con los elementos naturales: agua, árboles, personas y trabajos humanos, la minimización de los esfuerzos, la optimización de los espacios protectores de las personas y los bienes, la optimización de la calidad de las relaciones entre las personas y su entorno y la organización de los asentamientos en el tiempo y el espacio. Modelado su sistema urbano equilibrado, óptimo y armónico obtuvo su refugio, “una ciudad de ecosistema urbano dendrosistemizado de biomasa fotosintética capaz de modificar las condiciones extremas del ecosistema natural,” empleando un mínimo de energía, con una gran individualidad e identidad con el entorno. A partir de esta instancia se infiere que el ecosistema urbano dendrosistemizado del Gran Mendoza es un asentamiento humano logrado y paradigmático.

Los ecosistemas urbanos, ¿cómo funcionan?

Cuando hablamos de ecosistemas urbanos debe incorporarse el concepto de ecosistemas artificiales construidos y transformados por los seres humanos. La Tierra es un ecosistema natural que se comporta como un sistema abierto y dinámico de flujos de energías, pero a la vez cerrado en flujos de materias. La biosfera es un sistema global de comportamiento sostenible en su funcionamiento. Un ecosistema urbano, biosfera urbana, también es un sistema abierto y dinámico, con un inconveniente, necesita degradar materiales y consumir energías para su mantenimiento, superando a veces sus propios límites de extensión territorial para permitir la habitabilidad del asentamiento humano.

La Organización de las Naciones Unidas (ONU) define los ecosistemas urbanos como una comunidad donde los seres humanos representan la especie dominante y el medioambiente edificado constituye el elemento que controla la estructura física del ecosistema. Tal como un ecosistema natural, las ciudades representan complejos sistemas de interacciones donde los factores bióticos controlan y son controlados por el medio físico.

Para que esta interacción adquiera un correcto funcionamiento y mantenga su estabilidad en la biosfera urbana deben convivir los ciclos biogeoquímicos tales como:

- El ciclo biológico de la fotosíntesis y la respiración: Se basa en la compensación del oxígeno y del dióxido de carbono a través de una reacción química equilibradora de sus concentraciones a nivel de la biosfera, medidas en los espacios verdes urbanos. Concentraciones variables. Alto riesgo.
- El ciclo de los compuestos del nitrógeno: La reducción de nitratos mediante bacterias y las descargas atmosféricas constituyen las principales fuentes. El aumento de los fertilizantes nitrogenados que se incorporan en las áreas agrícolas y los espacios verdes privados pueden constituir a mediano plazo, un serio problema medioambiental. Alta estabilidad. Riesgo moderado.
- Los ciclos Atmosférico del nitrógeno y del argón: Completan los componentes básicos del aire, siendo los menos activos y su flujo es insignificante en comparación con su abundante presencia en la corteza terrestre, en los océanos, animales y plantas. Alta estabilidad. Sin riesgo.

- El ciclo del ozono atmosférico: Junto con el vapor de agua constituyen los gases no permanentes más importantes sometidos a procesos de transformación continuos. En la estratosfera se concentra principalmente la capa de ozono protectora de las nocivas radiaciones ultravioletas procedentes del sol y es de vital importancia en los procesos de contaminación atmosférica. La continua transformación de oxígeno a ozono y viceversa, mantiene el equilibrio fotoquímico por encima de los 30 km. Influyen sobre el ozono los óxidos de nitrógeno de la estratosfera y los compuestos del flúor y del cloro empleados en refrigeración. Concentraciones variables y en alarmante descenso. Alto riesgo.
- El ciclo gaseoso de los compuestos del carbono: Son el metano y el monóxido de carbono. Sus concentraciones son variables y constituyen un serio problema para el medioambiente de los ecosistemas urbanos por efectos de la producción antrópica estimada en más de 200 millones de toneladas anuales, ambos contribuyen al efecto invernadero. Variable ciudad-campo. Alto riesgo, efecto invernadero.
- El ciclo de los compuestos del azufre: Son compuestos transitorios del estado de oxidación del azufre. Su fuente principal son las superficies pantanosas, albuferas y marismas por la descomposición de la materia orgánica y la combustión. Constituyen uno de los principales problemas ambientales de estas zonas. Aumento de su concentración. Alto riesgo.
- El ciclo hidrológico: El agua por su estabilidad molecular es parte de los ciclos bioquímicos. Los procesos de evaporación, condensación y precipitación determinan concentración atmosférica y dependen de sus relaciones tierra-mar-aire y de sus tres estados físicos: gaseoso-líquido-sólido. Ciclo estable. Sin riesgos.

En los ecosistemas urbanos se produce una profunda alteración de las condiciones físicas y ambientales de los ecosistemas naturales. Aumenta el calor emitido por la combustión y el uso de energía alcanzado relaciones superiores a las emitidas por el sol, originando trastornos climáticos locales conocidos como inversión térmica. La conductividad de los materiales constructivos urbanos es superior a la del territorio en estado natural y agravan el problema de disipación del calor.

“El aumento de superficies asfaltadas, modifican el albedo de suelo, la radiación difusa y la percolación del agua por ser estas totalmente impermeables reduciendo la evapotranspiración del suelo y de la vegetación,” según Sergio Carrieri.

La sostenibilidad de los ecosistemas urbanos se corresponde con una creciente insostenibilidad global. Los procesos de transformación y degradación de los ecosistemas urbanos por el consumo excesivo de recursos naturales, acumulación de residuos y exacerbación de riesgos antrópicos ponen en conflicto la habitabilidad de ambos ecosistema. El delicado equilibrio equístico de los asentamientos humanos ha llegado a situaciones irreversibles de insostenibilidad, porque las ciudades han sobrepasado la capacidad de carga de los ecosistemas antrópicos por el excesivo consumo de flujos de energía y materia. Este desequilibrio se manifiesta mediante una serie de síntomas que constituyen los elementos básicos de las patologías urbanas de la actualidad. Los más evidentes son:

| CICLO URBANO | PATOLOGÍA URBANA |
|---|--|
| Atmosférico O ₂ CO ₂ CO SO ₂ O ₃ | Aumento de la contaminación ambiental. Aumento del CO ₂ y CO. Calentamiento de la atmósfera urbana. Efecto de isla térmica urbana. Menor renovación del aire con respecto al entorno. |
| Hidrológico O ₂ H ₂ O | Desequilibrio ambiental. Disminución de la humedad relativa. Alteración de acuíferos naturales. Aumento de las escorrentías superficiales. Salinización de suelos. Contaminación de aguas superficiales y subterráneas. Alteración del clima urbano. |
| Materia orgánica y residuos N Ar N ₂ O NH ₃ CH ₄ | Aumento de los residuos sólidos urbanos, excedente de nutrientes. Alteración de la composición del suelo. Contaminación de las aguas subterráneas por infiltraciones. Salinización de las tierras, pérdida de fertilidad. |
| Energético | Agotamiento de las energías no renovables. Coste energético y contaminación. |

El Ecosistema Natural de Mendoza

Mendoza está ubicada en una latitud de 32° 50 minutos sur y longitud 68° 50 segundos oeste de Greenwich. Tiene una altura media de 750 metros a nivel del mar y constituye una zona de configuración continental caracterizada por la elevación y desviación de la humedad como consecuencia de una barrera geográfica de altura promedio de 5.000 metros al oeste. Está dominada por el cinturón subtropical de anticiclones que aportan los flujos de aire dominantes de la región.

Las precipitaciones pluviales tienen un promedio anual de 180mm. aproximadamente, pero el potencial depurador de la contaminación atmosférica está contenido en los cinco meses de primavera-verano. El principal aporte de agua está dado por las precipitaciones níveas en cordillera que alcanzan 500 mm. anuales. La humedad relativa es variable con respecto a las estaciones pudiendo alcanzar el umbral de máxima del 70% entre abril junio con riesgo de nieblas y el umbral de mínima en los meses de verano.

Entre los potenciales riesgos climáticos podemos mencionar las brumas, las heladas, el granizo y las nieblas aunque poco frecuentes.

“Las temperaturas se caracterizan por su gran amplitud de invierno a verano de unos 40°C y diaria aproximadamente de 12°C, las inversiones de subsidencias pueden alcanzar un pico de 90% en los días de julio oscilando su altura promedio entre los 100 y los 200 m. Tales características provocan un aplastamiento atmosférico de alto potencial de riesgo con una situación de contaminación atmosférica creciente. Las calmas atmosféricas, que se hacen cada vez más notorias en el ecosistema urbano, alcanzan un pico del 60% entre mayo y agosto lo cual genera un alto riesgo en los días en que se registran inversiones duraderas. Brisas diarias con direcciones provenientes de la montaña hacia el valle en horas nocturnas y viceversa en horas diurnas, actúan como débiles agentes de ventilación para la ciudad. Con poca frecuencia relativa y con un máximo de frecuencia en los meses de julio, agosto y setiembre se producen fuerte viento con velocidades cercanas a los 60km/hs promedio, denominado viento zonda que provocan un brusco descenso de la humedad, aumento de la temperatura y una ionización positiva de la atmosfera. Potencialmente destructor de bienes materiales, puede comportarse tanto como agente depurador o como agente contaminador bacteriano y físico.”

La radiación solar media es de 700 calorías por cm² en diciembre y de 250 calorías por cm² en junio con una heliofanía relativa del orden del 63%. El albedo no está cuantificado pero, la escasa nubosidad relativa provoca en general fuertes enfriamientos nocturnos. Dadas estas características se desarrolla “una vegetación típica de zonas áridas, montañas con suelos desnudos o pastizales de altura alimentados por precipitaciones níveas. En tanto que en el pie de monte y la planicie se desarrolla una vegetación escasa, xerófila y achaparrada, representadas por la provincia fitogeográfica del Monte, de la Payunia, de la Patagonia y de la Puna, con especies como Jarillas, Zampas, Stipas, etc. y pequeños árboles adaptados de chañares, Algarrobos y acacias de tres espinas. Con esta vegetación de reducida capacidad de transpiración la evapotranspiración anual del ecosistema natural alcanza los 130 mm.”, en general muy degradada, que no alcanzan a moderar los efectos erosivos del viento y de las lluvias torrenciales sobre los suelos. La productividad de la biomasa es muy baja aproximadamente ronda las 50 calorías por m² por año, la escasa actividad fotosintética no alcanza a producir los efectos atemperadores, protectores y depuradores necesarios sobre la biosfera local.

Bajo estas características y con una organizada sistematización de los cursos de aguas superficiales se organizaron los Oasis de Regadío que ocupan sólo un 3,75% de la superficie total de la provincia, y es donde se halla ubicada casi la totalidad de la población, (1.729.660 hab. progresión al 2.010). Concentra su población urbana en el 0,25% de la superficie territorial, con una densidad provincial de 10,6 hab./km². La mayor concentración urbana se produce en el Gran Mendoza con un 54% de población, 1.243.863 hab. Según el censo del 2000 y una densidad de 2.026 hab/km².

Las interacciones entre los ecosistemas naturales y los culturales crean la necesidad de revisar y comprender sistémicamente el concepto local de ecosistemas urbanos, donde el sistema de forestación urbana, el de espacios verdes y los sistemas agroproductivos interactúan aportando y equilibrando sus influencias para la sostenibilidad integral del medio ambiente.

El desierto mendocino, un escenario de riesgo:

Las poblaciones originarias de nuestro territorio vivieron adaptadas a los riesgos del sediento desierto de llanura y de montaña, a los rigores de un ambiente continental, pedemontano, deshidratado, extremo y tenso, de naturaleza sensible y frágil y de vegetación humilde donde la evapotranspiración era mayor que las precipitaciones pluviales. Convivieron cobijándose de los excesos del sol radiante e inevitable; del arenal, reflectante e imperecedero; del aluvión arrollador; del sismo repentino e implacable; del viento zonda, intermitente, polvoriento y perturbador; del calor enrarecido y agobiante; de la insalubridad acechante y del aislamiento retraído.

Los oasis mendocinos, escenarios de supervivencia:

El advenimiento de la transculturación Inca y luego Española favoreció la construcción y fortalecimiento de un original sistema ecológico para la supervivencia, el bienestar y la calidad de vida, fundamentado en una estratégica sistematización de las aguas superficiales de los caudalosos ríos de montaña en alianza con la naturaleza y el uso selectivo del espacio abierto. La inserción calificada de comunidades vegetales exóticas para el sustento diario que permitieron consolidar el refugio agro urbano, el oasis de suelo fértil y aguas foráneas.

Advenimiento del árbol en el espacio abierto, la ciudad de la prevención:

El terremoto del 20 de marzo de 1861 destruyó la oprimida ciudad colonial grabando en sus víctimas sensaciones desastrosas de horror, asfixia, fuego, aguas desbordadas, sin vía de escape. La fundacional y periférica Plaza Mayor quedó inaccesible y distante. Los sobrevivientes de aquella dramática experiencia promueven y demandan un plan de reconstrucción urbana que contemple aquella situación extrema.

El gobierno y la población contratan al agrimensor Ballofet que perfila la nueva ciudad para la prevención y emergencia sísmica por medio de una ordenada y balanceada estructura urbana de doble trama abierta de amplios y arborizados espacios públicos, circunvalada axialmente por amplias avenidas de treinta metros y cuatro plazas equidistantes peatonalmente. Completan el casco urbano calles de veinte metros de ancho. En este modelo comienza a desarrollarse el espacio urbano en interacción con el sistema de arbolado público como una original y estratégica coalición de interrelaciones sistémicas de espacios abiertos forestados, espacios viales públicos arborizados y su necesario sistema de acequias de regadío. Germinó así el ecosistema urbano mendocino, para garantizar la seguridad y el escape al riesgo telúrico.

El ecosistema urbano mendocino, el espacio dendrosistemizado:

A pesar de los aportes y beneficios que introdujo la nueva planificación sobrevivieron nuevos desafíos sanitarios para el cual el ecosistema no estaba preparado. Se sucedieron grandes sequías, mangas de langostas y letales epidemias de viruela y difteria. El Dr. Lemos en su informe "Higiene y Demografía" decía que: "Mendoza es una ciudad destinada a desaparecer por el riesgo de la elevada mortalidad, en un momento en que el desarrollo urbano, el progreso, las corrientes migratorias y el avance en medicina están en el apogeo de su evolución mundial." Para corregir esta creciente agonía de la ciudad de Mendoza de fines del siglo XIX, se aplica un eficiente esquema de interrelaciones de flujos de energía y de materia de intensa actividad fotosintética, de fisiología homeostática y de aire acondicionado. "La meta era un diseño ambiental urbano autorregulado, ideal para el confort y la salud humana, por medio de una nueva ecuación ecológica de variadas y densas poblaciones de árboles, canales de riegos, acequias, fuentes y lagos." Se ejecutan entonces, el Parque del Oeste, la reforestación del espacio urbano, de calles, caminos y canales con árboles de amplia copa, probada producción fotosintética y extensa longevidad, el *Platanus Acerifolia* completaba esta ecuación introduciendo el bosque social y la sombra ventilada en cuanto espacio público existiese.

Los ecosistemas urbanos mendocinos, ocaso y olvido:

Aunque hoy existen contradicciones acerca de considerar a las ciudades como ecosistemas urbanos, no podemos negar que éstas están integradas por una biocenosis y un hábitat específico. Algunos sostienen que las ciudades poseen un bajo nivel de integración entre sus elementos, bajas condiciones de autorregulación y una extrema dependencia de los recursos exógenos, es decir, las ciudades se sostienen con los productos de otros ecosistemas.

En Mendoza, a pesar del paso de las décadas, del desarrollo económico y tecnológico la habitabilidad del ecosistema urbano por autorregulación fotosintética y hábitat específico perduró casi hasta hoy. El uso actual del suelo urbano y sus extensiones urbanas han dejado de lado a los principales protagonistas de su espacio urbano, el árbol, la acequia y a su trascendental destinataria la sociedad. El paradigmático modelo de espacio urbano-ecosistema urbano no admite que se considere al hombre, al paisaje, al sismo, al clima, a las plantas y a los espacios abiertos como variables independientes e incompatibles sino que deben ser consideradas en asociación, en un sistema espacial de uso, de calidad de vida, de relación íntima y de acción permanente de tal manera que lo que afecte a uno significa indefectiblemente la afectación y deterioro del conjunto. Tanto los beneficios tangibles como los intangibles de nuestros árboles urbanos superaron dos aspectos:

- el equilibrio ecológico, por su efecto protector, regulador y mejorador del ambiente del riesgoso desierto.
- el bienestar físico y psicológico de la sociedad mendocina, en base a factores tanto objetivos como subjetivos.

Factores abióticos del ecosistema urbano mendocino

Los ecosistemas urbanos tienen características climáticas particulares que pueden resumirse en "el concepto de "isla térmica", de tal modo que convierten a las ciudades en pequeños ecosistemas (islotas) de climatología diferente a los alrededores." Comparando las relaciones generales de las ciudades con la situación de Mendoza podemos estimar que las características más significativas son: alteración de la radiación solar: En general en los ecosistemas urbanos "se estima que hay entre un 5 y un 15% menos de horas de luz y un 20 a 25% menos de radiación solar directa y se calcula que la energía reflejada se ve afectada con un incremento de hasta un 12% más con respecto a los alrededores."

La trama estructural urbana mendocina fue diseñada como un sistema ortogonal amanzanado de 120 m de lado con el centro libre, corazón de manzana. Perimetralmente las fachadas en cortina de baja altura definían el espacio urbano variable de acuerdo a las dimensiones de los conectores viales y peatonales que le permitían un asoleamiento alternativo garantizando las horas de luz apropiadas para nuestra latitud y altitud. Hoy se produce una nueva realidad, la edificación aumentó su altura sin mediar retiros frontales o laterales hasta los 10 m de alto y desde allí torres de más de 15m, por lo tanto las sombras propias y arrojadas son más largas sumiendo al espacio urbano en situación de sombra casi constante, por ende menos horas de luz y radiación solar directa. Otro factor estresante del sistema lo producen los materiales de las cubiertas de techo y los revestimientos laterales de los edificios realizados en la mayoría de los casos con materiales reflejantes por lo tanto también hay mayor energía reflejada.

Reducción de la velocidad del viento: En las ciudades se reduce “la velocidad del viento en algunos sectores entre el 5 y el 20% y se producen mayor cantidad de días de calma, en tanto que en otros se incrementa provocando verdaderos túneles de viento.”

El diseño de la ciudad de Mendoza combinaba los espacios abiertos forestados de sus cinco plazas y los corazones de manzana provocando centros de diferentes presiones para movilizar el aire y así generar la ventilación de las construcciones y del espacio urbano. Con la construcción del Parque al Oeste y la disposición de siete avenidas de 35 m de ancho se aseguraba el intercambio de brisas del oeste y el cambio de temperaturas favorecerían el deslizamiento de estas hacia la ciudad. Esto mitigó la falta de ventilación de la ciudad por falta de vientos y de las calmas estacionales en otoño invierno. Actualmente las nuevas edificaciones en altura obstruyen y taponan las brisas húmedas y frescas del oeste, sumado a la densidad edilicia experimentamos una disminución considerable de la ventilación general de la ciudad, pero en calles con excesiva sombra se producen aumentos de movimientos de aire localizados causando efectos de túneles de viento en invierno que traen como consecuencia desequilibrios en las relaciones ambientales del ecosistema.

Disminución de la humedad relativa: “La humedad relativa en las ciudades puede disminuir entre el 2 y el 10%, como consecuencia de la disminución de la evotranspiración y por la pérdida de forestación y espacios verdes.”

El clima de Mendoza posee muy baja humedad relativa, factor revertido por la incorporación de árboles de gran copa y follaje que por transpiración y respiración incorporan humedad al ambiente. La proliferación de materiales abióticos, la reducción de la provisión de riego en las acequias y la disminución de los espacios verdes y deterioro de los forestales redujeron la posibilidad de evapotranspiración de sus árboles y en consecuencia disminuye la posibilidad de mayor humedad relativa.

Disminución en la recarga natural de acuíferos y mayor aridez en el sistema:

“Debido a las grandes superficies impermeabilizadas, las ciudades retienen menor cantidad de agua que las zonas naturales, impidiendo procesos de recarga natural de acuíferos, provocando problemas de inundaciones y contaminación de las aguas bajas de las cuencas y condicionando a la vegetación a situaciones de mayor aridez con respecto al entorno.”

El progreso trajo a Mendoza las nuevas tecnologías de impermeabilización de las calzadas preservando el rasgo característico de convivencia en el espacio urbano de personas, veredas amplias, árboles en alineación con su espacio de tierra o verde libre, acequias revestida de piedra bola enterrada y calzadas para los vehículos. En la actualidad este sistema ha sido alterado por la proliferación de impermeabilizaciones de calzadas, acequias y espacios verdes alrededor de los árboles alineados y de plazas y parques, todo esto conlleva al stress hídrico de los forestales, a una baja y contaminada recarga de acuíferos y a riesgos de aluviones por la nula capacidad del sistema de filtrar las aguas hacia las capas inferiores del suelo.

“Aumento de la contaminación atmosférica: La contaminación de los ecosistemas urbanos no requiere de grandes explicaciones señalaremos que existen diferentes tipos de contaminantes aéreos de tipo gaseoso, formados por partículas sólidas, contaminantes del agua y otros como la llamada contaminación sonora. Algunos de estos elementos alcanzan un factor de 2.000 partículas por m³ con respecto al nivel presente en el entorno natural (por ejemplo el caso más nocivo es el de dióxido de carbono).”

En el ecosistema mendocino los problemas de contaminación atmosférica se remontan a sus orígenes. El asentamiento poblacional, al ser emplazado en el límite final del plano inclinado en la depresión formada por el corrimiento del río Mendoza y circundada por tierras altas, favorecen la confluencia de las brisas y vientos cargados de polvo en un comienzo.

Y luego, con el desarrollo económico, industrial y tecnológico el área actual del Gran Mendoza, no solo se ve afectada por el polvo en suspensión, sino también por la confluencia de dos tipos de emisiones a la atmósfera, una la de las fuentes fijas industriales y agrícolas que se desplazan por los movimientos de aire hacia a la ciudad y la otra por las fuentes móviles del parque automotor público y privado que incorporan a la atmósfera partículas gaseosas y sólidas. "La concentración de estos gases y particulados generan en la biosfera urbana una situación de riesgo constante en perjuicio de la salud de sus habitantes. Es sabido que los efectos nocivos de la contaminación provocan enfermedades respiratorias crónicas, alergias y afectaciones cardiovasculares y que las poblaciones expuestas a niveles superiores a los recomendados por la OMS de 120 mg. en 24hs. pueden ocasionar enfermedades crónicas en la población, afectando principalmente a niños y ancianos."

En el área del Gran Mendoza los árboles de calles y carriles junto al área agroproductiva fueron los encargados de contrarrestar los valores negativos de esta situación, Aunque en la actualidad la fragmentación del territorio por la extensión de la ciudad hacia las áreas productivas y la ocupación de suelos frágiles del pie de monte junto a la ubicación y explotación de áreas industriales nocivas en el camino de las brisas aumentó el nivel de contaminantes que son arrastrados a la ciudad.

A este factor debemos adicionarle los problemas ocasionados por la falta de políticas de planificación apropiadas en el uso y desarrollo urbano, transporte público y circulación del parque automotor privado que aumentan las concentraciones de contaminantes aéreos, niveles de contaminación sonora y temperaturas en el ecosistema urbano. El sistema de arbolado público colocado como mitigador de estos conflictos, también se ve afectado reduciendo su capacidad de absorber contaminantes y excretar oxígeno para purificar el ambiente. De esta forma la biosfera urbana queda comprimida bajo una capa de gases similares a los gases de efecto invernadero que impiden la movilidad de los contaminantes.

Desaparición del suelo urbano: El suelo desaparece en el ecosistema urbano y disminuyen las funciones que este cumple como: "servir de nutriente a plantas y animales, garantiza la renovación de las aguas subterráneas, constituye un sistema de filtrado y amortiguación vital, etc."

En los ecosistemas urbanos esta función queda restringida a los espacios abiertos como jardines, zonas verdes, etc., mientras que en las restantes zonas, "la compresión y aislamiento del suelo, así como la acumulación de residuos, que con frecuencia alcanzan niveles tóxicos, hacen disminuir el número de organismos presentes en él."

En Mendoza la compactación y falta de aireación del suelo urbano se debe principalmente a los procesos de impermeabilización y pérdida de los espacios verdes propios del sistema de arbolado público.

Función, Aportes y Beneficios de los Árboles en el Ecosistema Urbano:

Consideramos árboles urbanos a los que están ubicados en el espacio público urbano y son de utilidad pública e inciden en el ambiente de la ciudad por estar integrados a ésta en calles, caminos, avenida, plazas, plazoletas, paseos, rincones urbanos, parques y áreas verdes de interfaces urbano/forestal. Al ser estos integrantes del ecosistema urbano, representan relaciones multivariadas entre los seres vivos y el ambiente y presentan distintos niveles y tipos de interacciones.

Los árboles mejoran el ambiente físico y el equilibrio ecológico mediante el control de la erosión hídrica y eólica, disminuyen remolinos, vientos, temperatura y radiación solar. "Disminuyen varias formas de contaminación atmosférica relacionada con partículas en suspensión dañinas y de olor desagradable, el ruido y el magnetismo. Se utilizan como filtros verdes para mejorar la calidad del agua, o como filtros parciales del aire, entre una fuente contaminante y el área urbana. Para controlar la contaminación ambiental se necesitan bosques densos de especies adecuadas. Estos datos han sido medidos en un árbol de gran copa."

Reducción de la radiación solar:

"Los árboles reducen la radiación solar y otorgan sombra ventilada, evitando el calentamiento de las superficies artificiales." La reducción de la temperatura resulta de la reducción de la concentración del ozono a nivel del suelo. Se reduce además el uso de energía para enfriar los ambientes internos y en consecuencia disminuyen las emisiones de contaminantes de los equipos de aire acondicionado. Mendoza por sus condiciones ambientales naturales posee una alta radiación solar, 63% de días soleados y al incorporar árboles de gran copa se ha logrado mitigar esta situación en los periodos de primavera verano.

La vegetación que constituye fluidos túneles verdes de canopia continua cada 100m y aperturas espaciales en el encuentro de calles como efectivas chimeneas, contribuyen a la reducción de las radiaciones solares y generan sombras y medias sombras ventiladas y humidificadas que ventila los corredores vehiculares y peatonales. A su vez esta alternativa de diseño del ecosistema urbano favorece la reducción del uso de equipos de refrigeración de los edificios con la consecuente disminución de las emisiones de contaminantes a la atmosfera.

Amortiguación térmica: Los árboles de la ciudad disminuyen la temperatura. "En áreas rurales las temperaturas pueden variar en un rango de 0,6 y 1,3 °C con respecto a las ciudades más cercanas. Este efecto se conoce como "Isla de Calor" y por lo tanto reducen el consumo de energía, que se origina por la sombra de sus copas y por su capacidad de evapotranspiración. Un árbol puede transpirar 450 litros de agua por día. El posicionamiento estratégico de árboles alrededor de edificios residenciales reduce la temperatura desde un 0,5° hasta 5° C. Cada un centígrado de reducción disminuye la demanda de energía eléctrica entre un 2 % y un 4%. De esta manera con el uso de árboles bien ubicados se puede ahorrar hasta el 20% de la energía utilizada para enfriar un edificio."

En el Gran Mendoza el sistema de arbolado urbano contribuyó a la reducción de hasta 3°C de temperatura en la ciudad y 5°C en los alrededores en combinación con el sistema agroproductivo. Las últimas mediciones realizadas por el Dr. Ing. Enrique Puliafito en el año 2.010 y el Ing. Agr. Sergio Carrieri en el 2.008 confirman esta teoría de reducción de temperaturas en calles forestadas con árboles de gran copa. Las calles medidas se encuentran a 200m de la Plaza Independencia, con una superficie aproximada de 5has. y a 100m de Plaza España. Es razonable considerar las influencias de las coberturas vegetales de estos dos importantes espacios verdes, que contribuirán en la reducción térmica del entorno y por lo tanto en la disminución del consumo eléctrico para refrigeración de los ambientes construidos cercanos.

Disminución de la contaminación atmosférica: La existencia de los árboles reduce considerablemente la "contaminación atmosférica por gases de combustión, material particulado y metales pesados producidos por la combustión de fuentes fijas o móviles. Fijan 2gr de contaminantes cada 15 días. Los árboles son particularmente sensibles y pueden usarse como primeros indicadores de altos niveles de contaminación ambiental."

Estudios realizados en la Ciudad de Mendoza con moreras híbridas han permitido comprobar la capacidad de "retención de más del 2% del particulado de gases y polvos en suspensión contenidos en el aire del ambiente urbano, recomendando la utilización de especies de gran superficie foliar y caducifolia por su capacidad de fijar los contaminantes retenidos en sus hojas y precipitarlos en el periodo de caída."

En el ecosistema urbano mendocino el arbolado público está compuesto por aproximadamente un 85% de especies caducifolias, distribuidos en un 50% de Moreras, un 30% de Plátanos y el resto compuesto por Fresnos, Acer, Acacias Visco y Tipuanas Tipus que por su densidad y superficie foliar constituyen los principales agentes descontaminantes del ecosistema.

Reducción de la contaminación sonora: "Los árboles producen una reducción muy significativa de los niveles de ruido en las ciudades. Reducen de 8 a 10 decibeles la contaminación sonora por m³. Un cinturón de 30 metros de árboles altos, puede contribuir a reducir los niveles de ruido en un 50%."

Si bien el ecosistema urbano mendocino caracterizado por el arbolado público en alineación no alcanzaría para la reducción de la contaminación sonora, de acuerdo a los cánones internacionales, Mendoza posee un sistema de espacios verdes, plazas y parques que compensan esta deficiencia. Sus plazas, paseos públicos y parques están distribuidos en el entramado urbano y actúan como amortiguadores sonoros para las áreas residenciales de la ciudad.

Producción de oxígeno: Estudios internacionales realizados por McPherson, en 1994 demostraron que un árbol de gran copa aporta por día 1.000 m³ de oxígeno en el proceso de fotosíntesis. Durante las horas de sol, la vegetación realiza el proceso de fotosíntesis, transformando el CO₂ en sustancias orgánicas y liberando al ambiente agua y oxígeno que le permiten mejorar la calidad del aire. La energía del sol es acumulada en sus hojas y es liberada en horas nocturnas esto permite que en ecosistemas áridos donde las amplitudes térmicas diarias son grandes, se equilibren y no sean tan extremas.

En el Gran Mendoza hay aproximadamente 1.500.000 árboles, que aportarían aproximadamente 1.500 millones de m³ de oxígeno por día, en condiciones óptimas de desarrollo.

Si a esto le agregamos los aportes de la vegetación natural, la del área agrícola y la de los espacios domésticos, podemos vislumbrar como el ecosistema urbano del Gran Mendoza, alcanzo niveles óptimos de calidad del aire, ya que los aportes de la vegetación lograron modificar la concentración de oxígeno del aire, reducir los niveles de CO₂ e incorporar humedad con lo cual se produjo una purificación del ecosistema urbano disminuyendo la cantidad de enfermedades respiratorias. Datos estadísticos reciente, revelan aumentos de las enfermedades respiratorias como consecuencia de los niveles de contaminación por el aumento de la combustión de fuentes móviles.

Consolidación de suelos y taludes: "Por el entramado de sus raíces contribuyen a proteger y fijar suelos, evitar deslizamientos, desmoronamientos, riesgo de erosión y problemas asociados. Pueden emplearse para la solución de problemas específicos de estabilización del suelo en zonas de riesgo por deslizamientos o deslaves, en taludes de canales, etc."

La ubicación de la forestación al oeste de la ciudad de Mendoza se generó por la ley de forestación N°: 19 para prevenir los riesgos de aluviones, luego se le dio el carácter de parque con masas boscosas. De esta forma se estableció un control sistémico de los riesgos naturales: aluviones, deslizamientos de suelos por efecto de los mismos y retención de los polvos en suspensión provocados por vientos fuertes el oeste.

Disminución de los riesgos de inundaciones: "Los árboles filtran y almacenan el agua, remueven los contaminantes, al igual que los nutrientes y los sedimentos y reducen la velocidad y volumen de deslizamiento.

El sistema de arbolado de Mendoza por su sistema radicular contribuyó a la fijación del suelo urbano y junto con el sistema de acequias revestidas con piedra bola redujeron los riesgos de inundaciones.

Contribuyen en la disminución del stress, en la recuperación de la salud física y psíquica y en la reducción de delitos: Según un estudio presentado por la Universidad de Illinois, una cobertura vegetal apropiada reduce el número de delitos porque las áreas públicas arboladas y en buenas condiciones generalmente son muy frecuentadas y además el verde mitiga el estrés que es causa frecuentemente de actos de violencia.

"Aportan al bienestar físico y psicológico de la sociedad urbana. Provocan en la población estados anímicos agradables y actitudes sociales positivas. Aumentan al confort físico y por lo tanto el confort psicológico. Aumentan la privacidad dando sensación de seguridad, libertad o intimidad. Contribuyen a lograr la identidad de un sitio."

Alivian el dolor y facilitan la recuperación: El verde tiene la capacidad de alterar la actividad eléctrica del cerebro, reducir el nivel de las hormonas que causan estrés y atenúan la tensión muscular. La célebre investigación de Roger Ulrich, psicólogo ambiental y profesor de paisajismo, confirma el potencial del verde para aliviar el dolor. Las recomendaciones médicas actuales para distintas patologías leves, son las de caminar en espacios verdes y nuestras calles ofrecen esa posibilidad por el profuso arbolado existente y porque la disposición del mismo permite la sociabilización del espacio urbano que, en más de una ocasión al evitar el aislamiento del paciente, generan bienestar en el mismo. En las VI Jornadas de Investigación de la Universidad de Mendoza de 2.007, el Dr. Cabrera especialista en cardiología presentó los resultados de su investigación que demostraban la influencia benéfica de los espacios verdes de la ciudad en la disminución de enfermedades relacionadas con el estrés y que influyen en el sistema cardiaco. Antecedentes históricos demuestran que en el Gran Mendoza, las incorporaciones de los espacios verdes y el arbolado junto a las obras de saneamiento urbano, lograron disminuir considerablemente las enfermedades respiratorias y la insalubridad de comienzos del siglo XX. Hoy los riesgos de enfermedades respiratorias y psíquicas están en aumento, no sólo por la vorágine del ritmo de vida sino también por la pérdida y mal uso de los espacios verdes, aumentando los riesgos de delito urbano.

Valor paisajístico: La forestación contribuye a la descontaminación visual. Los árboles enfatizan vistas u ocultan aquellas que son desagradables. Reducen la luz intensa y la reflexión. Dirigen el tránsito peatonal y complementan o realzan la arquitectura.

"¿Qué sería de Mendoza sin árboles?, la belleza de sus frondas sus juegos de luces y sombras a veces caprichosas crean una imagen única de la ciudad, el paisaje respaldado por la cordillera y los árboles en perfecta línea recta disimulan la variedad arquitectónica de sus edificios, proporcionan la escala y hacen que esta ciudad tenga una escala humana vivible en toda su extensión."

Valor natural: Los árboles proporcionan elementos naturales y hábitats para la vida silvestre en los alrededores urbanos, lo cual aumenta la calidad de vida de los habitantes. También son promotores de la biodiversidad urbana. En el ecosistema urbano de la Ciudad de Mendoza se produce una diversidad de hábitat para aves adaptadas a nuestro medio, "la ciudad en equilibrio con la floresta implantada no solo beneficiara a los habitantes sino que también va a permitir que los pájaros vuelvan a la ciudad."

Identidad territorial: Los árboles tienen significación colectiva e identidad individual, definen las características del espacio urbano, jerarquizan la espacialidad de los conectores viales y peatonales, promueven las interrelaciones vecinales y generan estilos de vida propios para la ciudad, de reunión, espera aclimatada, el uso de la vereda.

Otorgan beneficio socioeconómico: La forestación urbana y las áreas ajardinadas, a través de su mantenimiento, protección y modificación son fuentes generadoras de empleo. Dan un valor agregado a los predios e incrementan la plusvalía de lotes en fraccionamientos. Los productos comestibles o medicinales de ciertos árboles significan ingresos monetarios.

Su papel en la promoción científica y en la educación ambiental: Promueven la conservación biológica, como hábitat de otros organismos o como fuente de germoplasma. Se convierten en lugares idóneos para la educación, la interpretación y la promoción ambiental. Son fuentes de ingreso de las industrias sin chimeneas: por el interés turístico que generan en la ciudad.

Agresiones y mutilaciones al arbolado de los ecosistemas urbanos

Los árboles del ecosistema urbano están sometidos a riesgos antrópicos al estar inmersos en un ambiente artificial adverso propiciado por las constantes transformaciones urbanas y el estrés causado por la presión social traducida en agresión, mutilación, quema y el manejo incorrecto que se les da.

Ambiente artificial y adverso: Suelos impermeables, substratos enrarecidos o contaminados, espacio vital reducido y competencia con estructuras civiles construidas, aceras pavimentadas, cornisas, marquesinas, cartelería, etc. Fluctuaciones drásticas del clima, islas de calor e inversiones térmicas. Alteración del fotoperiodo natural, dada la iluminación artificial. Cierta fauna urbana como gatos, perros, vándalos, roedores, insectos y plagas.

Estrés por presión social: Daños por tránsito vehicular y peatonal. Utilización antinatural como exhibidores, fijación de propaganda, soporte de cables, diseño inadecuado de los contenedores naturales que ocasionan obstrucción para el crecimiento, daños por vandalismo, etc.

Estrés por manejo incorrecto: Riego nulo, insuficiente o excesivo, costosas podas mal realizadas, falta de podas formativas en los primeros años, elección de especies inadecuadas para el desarrollo de actividades humanas en el ecosistema urbano, competencia entre especies por la cercanía de plantación, falta de desinfección, etc.

El Ecosistema Urbano –Verde Urbano y la recuperación de la cultura del árbol Además de las consideraciones sobre los aportes y beneficios del arbolado urbano, y su vital existencia en ecosistemas urbanos frágiles y rigurosos como el nuestro, es necesario comprender su aporte al equilibrio ecológico del ecosistema y valor agregado que genera en las ciudades de regímenes semiáridos. Nuestros antecesores comprendieron el sistema ecológico creado y establecieron a través del tiempo la huella de la cultura del arbolado urbano como un bien público que debía cuidarse y mantenerse para las generaciones futuras. Realizaron un legado de sustentabilidad ambiental del sistema que usufruimos hasta hoy, pero nuestro nuevo concepto irracional del desarrollo y la inserción en el mundo globalizado nos ha hecho perder el rumbo de los valores adquiridos por el esfuerzo y la tenacidad. Recuperar la cultura del árbol con campañas educativas que integren a la población y le permitan volver a valorar el arbolado público como parte fundamental de una estructura integral, dinámica y sistémica donde agua, árbol y espacio público son componentes indivisibles y vital del ecosistema mendocino y el referente de los valores identificadorios de nuestra provincia.

REFERENCIAS

- Álvarez, A.1995
- Belher, C; Puliafito, S, Et.Al. 1987
- Cabrera, - 2007 VI Jornadas de Investigación de la Universidad de Mendoza.
- Carrieri, S.; Et. Al. 2009
- Clark et al., 1997; Vélez, 2007
- Coni, Emilio 1896
- Cremaschi, J. 1986, La biosfera de la ciudad de Mendoza. Art. Diario Los Andes Septiembre de 1986 Notas N° I, II y III.
- Cremaschi, J. Et. Al 1992
- Dalmaso, A; Candia, R; Ganci, C. 2008 Flora natural de Mendoza. IADIZA. CRYCYT
- Doxiadis, C.A.: Ekistics, An Introduction to the Science of Human Settlements, Hutchinson, 527 p. Lóndres, 1968),
- Kaplan; Kaplan, 2003
- Lapadulla, 1964 Carta al Arq. Tedeschi previa a Conferencias en la Facultad de Arq. de Mza. Citada por Tedeschi, Enrico en Informe y Diagnostico de la Ciudad de Mendoza, 1970
- Lics. G. Moreno-A. Duplancic: Evaluación de la capacidad de retención de partículas sólidas sedimentadas por *Morus alba* en la ciudad de Mendoza
- Mascaró, J.J. et al, 2006
- Margalef, R. Ecosistemas 1986
- McPherson, E., Nowak, D. y Rowntree, R. 1994 "Chicago's urban forestry ecosystem. Results of the Chicago Urban Forest climate project" Northeast forest experiment station, Pennsylvania.
- Martínez Carretero, E. 2010
- Melo, O. y Donoso, G. 1995: "El caso del Parque Bustamante. Valoración Socioeconómica
- Puliafito, E.; Pithod, P.; Quero José L.; Tomba, Carlos. Determinación de las Principales Fuentes de Contaminación: Diagnóstico de la situación actual. Rev. EDIUN UM 1998
- Puliafito, E; Bochacca, F.; 2006
- Ramos Correas, D. 1933 Conferencia sobre urbanismo. Reunión anual del Rotary Club de Mendoza. Archivo personal del Arq. Ramos Correas. Universidad de Mendoza DICYTyV.
- Scudo, G.; Ochoa de la Torre, J.M. 2006
- Sukopp & Werner, 1991
- . Vélez y Gómez, 2008

Identificación, Zonificación y Cuantificación de Eventos de Inundación de Detritos en el Área Metropolitana de Mendoza

RESUMEN

El piedemonte de la ciudad de Mendoza es una unidad geomorfológica ubicada al oeste de la capital de dicha provincia, en el oasis norte de la provincia de Mendoza.

Debido al elevado crecimiento demográfico, la unidad pedemontana ha cobrado importancia en cuanto a sostener y alojar nuevos emprendimientos urbanísticos, que han llevado a la urbanización parcial del lugar, a pesar de leyes que restringen su uso desde el punto de vista infraestructural. Conforme a esto, y apoyado en decisiones de orden político como de intereses privados, es que la población está comenzando a ocupar el área en conflicto, sin tener en cuenta las restricciones que el propio medio natural impone sobre sus habitantes. Así es que factores disparados por el antropismo acelerado y factores de orden natural potencian un fenómeno altamente riesgoso en zonas de elevadas pendientes como son los denominados eventos de Inundación de detritos (debris flood).

A pesar de la existencia de defensas aluvionales colocadas estratégicamente en diversos sectores, éstas no alcanzan para evacuar en muchos casos el excedente de materiales aportados por un evento fluvial, generándose desbordes que afectan a las áreas que se encuentran por debajo de ellas que se combinan con eventuales cauces efímeros que alcanzan a complejos habitacionales dentro del área de estudio. Debido a la problemática desarrollada, en el presente trabajo se pretende evaluar, zonificar y proponer medidas de mitigación para sembrar las bases de un posterior plan de ordenamiento territorial que permita a los pobladores habitar el sector en forma segura.

**J. C. Delamarre (1),
H. A. Cisneros (1, 2),
R. G. Zavaroni (1).**

1 Departamento de Geología, Facultad de Ciencias Físico Matemáticas y Naturales, Universidad Nacional de San Luis

2 Departamento de Geografía, Facultad de Filosofía y Letras, Universidad Nacional de Cuyo

josedelamarre@yahoo.com.ar

INTRODUCCIÓN

El Piedemonte de la ciudad de Mendoza, es una unidad geomorfológica ubicada al oeste de la capital de la provincia, entre la provincia geológica de Precordillera y la depresión oriental (Abraham et al., 2002) [1].

Esta unidad pedemontana tiende a alojar y sostener procesos geológicos de orden interno y externos relacionados a eventos sísmicos y aluvionales, entre otros. Ante la creciente y descontrolada urbanización que la ciudad de Mendoza está soportando, gran parte de la población está desplazándose hacia áreas de importante pendiente, producto de fenómenos relacionados con eventos pluviométricos estivales donde se activan fenómenos de remoción en masa. Estos procesos junto a otros de menor orden, pero no así menos importantes, colocan a un núcleo de habitantes en Riesgo Geológico, entendido este desde la relación entre la Amenaza y Vulnerabilidad. Dentro de las distintas clasificaciones de Remoción en Masa, se opta por aquellas que incluyen los procesos de Inundación de detritos (debris flood-DF-) (Hungr et al., 2001) [2], entendiéndose a estos como formados por eventos pluviales extraordinarios, con una gran carga de material detrítico en suspensión, que da como resultado flujos acuosos de muy alta densidad. Estos sucesos han sido y son recurrentes en el sitio en estudio. Resultan éstos de una combinación de factores, entre los cuales se enfatizan la pendiente, topografía, litología, pluviometría, entre otros.

Estos eventos de DF son frecuentes durante periodos estivales ocasionados por fenómenos de precipitaciones muy cortas temporalmente con gran volumen de agua liberado como escorrentía superficial que en combinación con una importante pendiente, dan ocurrencia a avenidas de material aluvional de tamaño heterogéneo, que surcan el oeste de Mendoza, desplazándose desde zonas de alta pendiente o área fuente, a zonas de baja pendiente buscando un equilibrio sedimentario dentro de la cuenca.

Se efectúa aquí, a partir de un análisis científico-técnico, el análisis de un área cuyas características geológicas son las adecuadas para generar procesos aluvionales sobre la población que la habita, donde se destaca un gran desarrollo socio económico cultural desplegado a través de más de 400 años, cuyos eventos naturales están fechados históricamente desde el siglo XIX llegando hasta la actualidad.

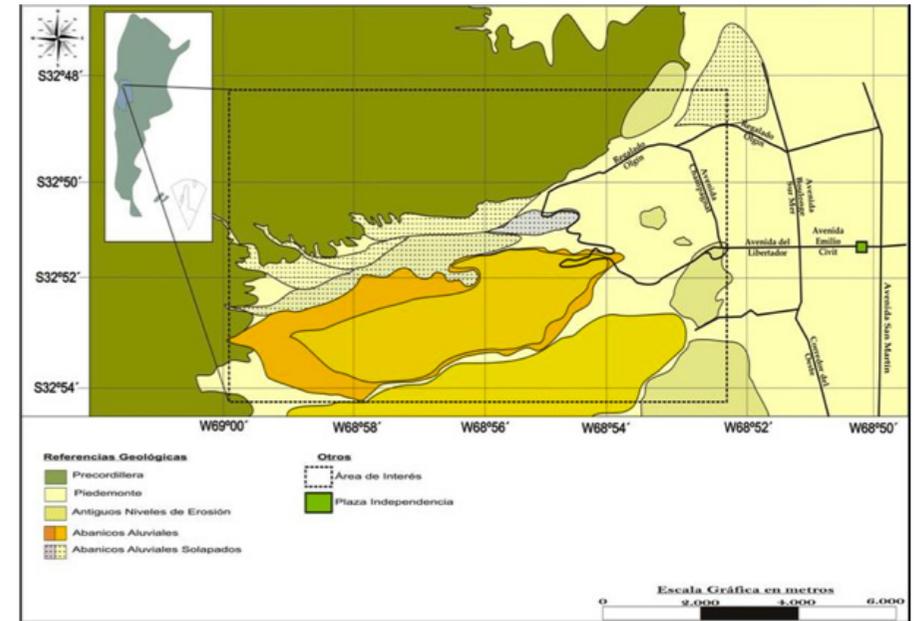
OBJETIVOS

Los objetivos del trabajo residen en la investigación de parámetros tales como son la distribución de los eventos en el noroeste del Piedemonte de la ciudad de Mendoza; qué litología afectan y cómo ésta regula el evento aluvional; cuál es su comportamiento y modalidad de ocurrencia; determinar a partir de conocer su comportamiento y modalidad el riesgo de DF de los asentamientos humanos en este sector del piedemonte, además, establecer descriptiva y analíticamente como es el comportamiento de las defensas aluvionales del sector y proponer, si es factible, alguna medida correctiva en lo que respecta a su ubicación y morfología. Por último evaluar y zonificar el área de estudio a partir de una matriz de riesgo geológico de elaboración propia (utilizando la metodología heurística).

Ubicación y vías de acceso.

La unidad del Piedemonte de la ciudad de Mendoza, República Argentina; está localizado en las coordenadas Geográficas W69°00'-W68°50' y S32°48''-S32°54' (figura 1)

Figura 1: Ubicación del área de análisis, al oeste de la ciudad de Mendoza



GEOLOGÍA Y GEOMORFOLOGÍA LOCAL

La geomorfología regional es típica de zonas áridas, implicando la aparición de geofor-mas resultantes en función de la situación morfoestructural, enmarcada ésta última bajo la Precordillera. El contexto morfoclimático bajo el cual están restringidas éstas, revela un sistema Semiárido a Árido, el cual abarca la mayor parte de las Sierras Pampeanas y de la Precordillera cuyana, tomando sectores de unidades Cordilleranas y de la planicie de Sierras Pampeanas Occidentales.

Las geoformas comprendidas bajo este marco morfoestructural - morfoclimático, tomando las generalizaciones de Pedraza Gilsanz (1996) [3], se asocian a un origen fluvial, donde es posible determinar cauces comprendidos bajo una red de drenaje mayoritariamente de carácter anastomosada (en su gran mayoría, salvo algunas excepciones) y de importante desarrollo por la pendiente del área. Los componentes hidrológicos se arreglan por escasos ríos de régimen permanente, predominando aquellos efímeros e intermitentes de carácter (según génesis) consecuente y obsecuentes, cuyos canales principales exponen láminas de agua separadas por barras emergentes con una sinuosi-

dad mayor de 1,5, (además hay aparición de geoformas agradacionales tales como abanicos aluviales y conos de deyección, siendo estos individuales y también coalescentes).

En menor medida y relacionado intrínsecamente con geoformas de origen fluvial (aunque de génesis asociada a fenómenos gravitacionales) aparecen estructuras asociadas a fenómenos de Remoción en Masa, entre las cuales se distinguen morfologías de denudación y de acumulación vinculadas a fenómenos gravitacionales complejos (en relación con fenómenos de flujo y deslizamiento de materiales) (según Varnes, 1958) [4]. Aparecen también geoformas estructurales relacionadas en forma directa con fenómenos tectónicos. Están marcadas por la presencia de flat irons (terminología utilizada por Everard, 1963, [5]) localizadas puntualmente al margen del frente de levantamiento Precordillerano, además de escarpas de fallas.

Se desarrolla también importantes niveles asociados a Superficies de Erosión en la zona marginal y oriental de la Precordillera de Mendoza, en forma de una faja pedemontana, casi continua (aunque con fuerte disección fluvial anastomosada) integrada por estas superficies, las cuales se extiende desde la localidad de Chacras de Coria, hasta el cordón del cerro de Las Peñas, al norte (Regairaz y Barrera, 1975 [6]).

Polanski (1954) [7], utilizando el empirismo de la escuela anglosajona, en la definición de superficies de erosión, distingue una unidad morfoestructural de menor jerarquía siguiendo en términos generales una montaña de erosión caracterizada por la cerrillada del Challao - cerro de la Gloria- Chacras de Coria, con rumbo general norte-sur, extendiéndose por el oeste de la ciudad de Mendoza, a lo ancho de unos 10-12 Km, al naciente de la margen precordillerana. Hay fenómenos de Remoción en Masa relacionados en forma directa con factores climáticos y asociados con esporádicas pero intensas precipitaciones estivales que han desarrollado una multitud de valles en "v" con cañadas muy estrechas. La textura del relieve es sumamente densa y fina, con rasgos de madurez en su montaña de erosión muy joven (Polanski, 1954) [7].

ESTRATIGRAFÍA.

De las formaciones aflorantes en el Piedemonte al oeste de la ciudad de Mendoza, solo ocho están presentes en el área de la cuenca. Las rocas más antiguas en la cuenca son aquellas asignadas al Paleozoico caracterizadas por el Grupo Marquezado, Formación Empozada y Formación Jejenos; del Mesozoico y de edad triásica, aparece el Grupo

Uspallata, representado por las formaciones Río Mendoza y Las Cabras, aflorantes en los cerros Melocotón y Bayo. Siguen en edad las vulcanitas del cerro Melocotón, que intruyen a la Formación Las Cabras en el cerro homónimo además de la Formación Papagayos de edad Cretácico Superior. Por último asignadas al Cenozoico aparecen las formaciones Divisadero Largo, Mariño, Mogotes y los depósitos aterrazados pedemontanos y los depósitos coluviales y aluviales recientes de pie de sierra de edad cuaternaria

EVALUACIÓN DE REMOCION EN MASA EN EL AREA

Estudios y/o antecedentes sobre riesgo aluvional en la cuenca

Los estudios y/o antecedentes respecto de esta disciplina se remontan a investigaciones realizadas por Polansky, 1966 [8]; Vich y Pedrani, 1993[9]; González et al. 2002 [10]; Nave et al., 1997 [11]; Maza, 2004 [12]; y Pérez, 2002 [13]; En todos estos trabajos se detallan y se asientan datos respecto a la implicancia del fenómeno aluvional al oeste de la ciudad de Mendoza, enmarcando desde las geoformas asociadas a estos eventos, infiltraciones, precipitaciones, etc., con mayor o menor énfasis en el Riesgo Aluvional.

El área con predominio del fenómeno mencionado es el oeste del Gran Mendoza y hasta la ciudad misma. Los DF que escurren por los zanjones secos, o las crecientes laminares por el piedemonte, depositan la mayor parte del material en los canales y en sectores distales del piedemonte. En su recorrido hacia el este, continúa depositando el material más fino con gran cantidad de agua llegando hasta la propia ciudad.

Este fenómeno se confunde con el de inundación ya que, al llegar a la ciudad de Mendoza, arriba agua en gran cantidad y menos material fino. Este último (arenas finas, limos, arcillas) se observa una vez que bajan y/o se retiran las aguas y lo que se detecta en el momento es que el agua corre sistemáticamente por las calles siguiendo la pendiente regional.

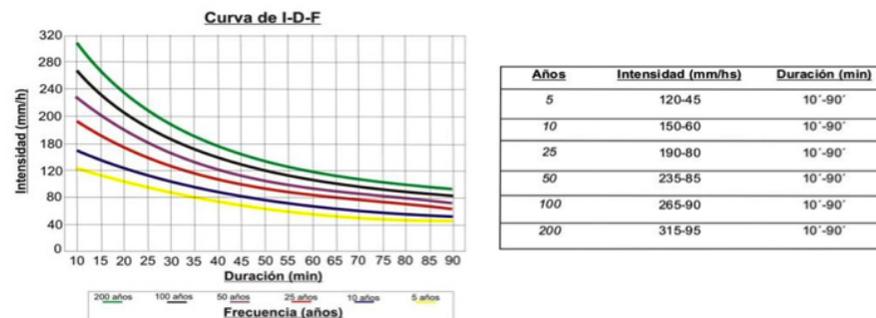
Recurrencia espacial del evento aluvional en las cuencas.

Según Maza (2004) [12], a partir de una tabla logarítmica de Intensidad vs Duración, el tiempo de retorno de un evento meteorológico pluvial importante que pueda derivar en un invariable evento aluvional en el área de estudio, es matemáticamente exponencial. Teniendo en cuenta la relación mm/h (Intensidad), se establece que 1 mm de agua por hora equivale a 1 litro de agua por metro cuadrado; significando con esto que al menos se requieren 120 litros de agua por metro cuadrado, caídos en un tiempo de 10 a 90

minutos, para que, materiales de tamaño Grava-Arena-Limo-Arcilla sean removilizados, constituyendo un fenómeno de remoción en masa tipo inundación de detritos en el área, que se movilizan a través de canales de incisión que retrabajan a los abanicos aluviales que conforman parte del piedemonte. El intervalo temporal entre transporte y sedimentación de materiales se establece entre los 40 a 55 minutos de iniciado el evento pluviométrico.

En la figura 2, pueden observarse datos correspondientes al estudio realizado por Maza (2004):

Figura 2. Cuadro en el cual puede observarse los valores Anuales en tiempo de recurrencia respecto de la intensidad en mm/hs y su respectiva duración en un lapso de 10 a 90 minutos. Extraído de Maza, 2004.



CARACTERIZACIÓN GEOLOGICA DE LA CUENCA DIVISADERO LARGO, PAPAGAYOS Y FRIAS

Cuenca del río San Isidro.

Esta cuenca presenta un área de 27 Km² extendiéndose con orientación noroeste-noreste, ubicándose al oeste de la ciudad de Mendoza, en el piedemonte de ésta.

Se trata de una cuenca en la cual aguas abajo de la misma, se concentran núcleos poblacionales con importante densidad de habitantes además de zonas declaradas "de esparcimiento" y "de usos múltiples".

La presente cuenca se compone por el río San Isidro y cauces secundarios que drenan en él. El drenaje de esta cuenca exhibe una arquitectura de drenaje de tipo dendrítico en las

cabeceras a anastomosado en su desembocadura y a través de su recorrido por el piedemonte hasta su encauzamiento en el canal o colector de excedentes aluvionales "Las Heras", ubicado en el departamento homónimo, cuya orientación es norte-sur. Este río está afectado por un endicamiento conocido como presa de contención aluvional Dique San Isidro, en el sector medio de la cuenca, produciendo que el río a partir de este punto, adquiera un rumbo suroeste-noreste, aproximando al rasgo de levantamiento precordillerano.

Los datos de campo relevados pusieron en evidencia que los sedimentos transportados en este río son gravas gruesas al igual que bloques de tamaño heterogéneos, predominando los primeros por sobre los segundos conformando depósitos de conglomerados polimícticos, los cuales son transportados durante eventos ligados a DF, ocasionando, en el peor de los escenarios, problemas en la salud de la población aguas debajo de este sector. En una vista panorámica desde el punto más elevado de la zona de trabajo (cerro Arco), fue posible divisar la dinámica de la cuenca del río San Isidro y las cuencas ubicadas hacia el sur de esta posición, pudiendo visualizarse en la figura 3.

Figura 3. Imagen fotográfica tomada desde el cerro Arco; Mendoza, Argentina.



En ella puede observarse de W-E la dinámica de la cuenca del río San Isidro en la cual se asientan urbanizaciones sobre la llanura de inundación del mismo además de visualizarse la pendiente regional a través de la cual se desplazan materiales. Hacia el SE de la cuenca se observa la distribución del resto de las aglomeraciones poblacionales sin un ordenamiento particular, por lo que se encuentran sujetas a un cambio en la dinámica del medio quedando bajo condiciones de riesgo. En líneas punteadas negras se marca el límite jurisdiccional entre departamentos. Las flechas azules punteadas son indicadoras del flujo de material transportado por la cuenca San Isidro (hacia el norte), Divisadero Largo y Papagayos (hacia el sur). Con línea negra se señala el trazo de la falla inversa "Divisadero Largo" (de orientación 12°/30°Nw).

Se detectó en la cuenca, sedimentos recientes de DF o inundación de detritos apoyados sobre el dique de contención aluvional, cuya altura es de aproximadamente 5 metros. Aguas abajo del río y por debajo de la defensa presa dique San Isidro la situación del cauce cambia adquiriendo mayor movilidad en la llanura de inundación, antes de su encauzamiento en el colector Las Heras. El río en este punto adquiere mayor incisión a través de su curso, dejando remanentes de antiguas terrazas que son indicadores de la evolución del río (figura 4).

Figura 4. A la izquierda: Imagen satelital Google Earth en la cual puede observarse en líneas punteadas amarillas la llanura de inundación del río San Isidro, las líneas azules representa el sentido de escurrimiento del río, en línea naranja se puede observar el paredón de la presa San Isidro. A la derecha: Imágenes fotográficas A y B en las cuales pueden observarse los depósitos de material aluvional de las últimas crecidas, puede verse que estos presentan similar altura que el dique. En líneas azules en la imagen A puede apreciarse la dirección de escorrentía del río, la altura se corresponde con 5.15 metros aproximadamente.



La situación estructural en esta cuenca se encuentra gobernada por el frente de levantamiento precordillerano y lineamientos de estratos de arenas medias a finas litificadas y masivas con orientación suroeste-noreste e inclinación hacia el noroeste.

Cuenca Papagayos.

Esta cuenca presenta un área de 57 Km² extendiéndose con orientación oeste-este respecto de la ciudad de Mendoza, en el Piedemonte. Los componentes litológicos observados en esta subcuenca de estudio varían en una combinación de sedimentos delezables caracterizados por la presencia de bloques, gravas medias a gruesas, y en menor proporción arenas, limos y arcillas de las Formaciones Divisadero Largo, Mariño, Mogo-

tes además de depósitos aterrazados pedemontanos y depósitos coluviales y aluviales recientes de pie de sierra. La litología presente en el sector contribuye con el proceso denominado DF, alimentando cauces fluviales incisivos, con material tamaño bloques-gravas-arenas y menor contenido en finos, durante episodios pluviales extraordinarios.

Pudo observarse la presencia de paleo depósitos de DF, generalmente evidenciados por discordancias angulares y erosivas en algunos sectores producto de cambios en el nivel de base de los cauces a raíz del levantamiento de estructuras cuaternarias o por eventos relacionados a episodios de no sedimentación. La particularidad observada en la cuenca del río Divisadero Largo fue la presencia de una importante cantidad de bloques encontrados aguas arriba y abajo del mismo donde por las propiedades litológicas que los bloques presentan, es posible en algunos casos determinar su área de aporte.

Las evidencias presentes en cuanto a los bloques encontrados sobre el lecho del río Divisadero Largo, además de las discordancias presentes que colocan a los antiguos depósitos de DF en posiciones de elevada topografía y el basculamiento del paquete de estratos correspondientes al Grupo Uspallata y las Formaciones de edad terciaria (Papagayos, Divisadero Largo, Mariño, Mogotes, etc.) permitieron determinar la existencia de un levantamiento estructural del área, causado por la falla Divisadero Largo (figura 5). El movimiento inverso de la falla genera en el área una barrera estructural, desplazando los ríos que la atraviesan en dos segmentos: uno con desplazamiento sureste y otro con desplazamiento noreste. Este levantamiento de la estructura genera un aumento en la pendiente que tiende a suavizarse hacia el este. Por este motivo es posible observar la existencia de este tipo de bloques y la presencia de valles incisivos en los términos medios de la cuenca Divisadero Largo.

El río Papagayos se extiende con orientación suroeste-noreste y se ubica al oeste de la ciudad de Mendoza. Aguas debajo de la misma se concentran núcleos poblacionales con importante densidad de habitantes en zonas declaradas "de esparcimiento" y "de usos múltiples".

Los datos de campo relevados pusieron en evidencia la existencia de importantes valles incisivos aunque sobre el río Papagayos se observó la presencia de llanuras de inundación aguas arriba parcialmente desarrollada. Mientras que aguas abajo, la misma aumenta su perfil lateral en cercanías con la presa de contención aluvional "dique Papaga-

yos", la cual soporta un volumen de embalse de 0,8 Hm³ de material y cuya altura es de 22,79 metros. Hay existencia de niveles aterrazados que se corresponden con antiguas superficies de erosión generadas a partir de la coalescencia de abanicos aluviales de edades asignadas al Terciario y Cuaternario en relación con unidades formacionales de igual edad (ver figura 1).

Figura 5. Potente secuencia de Debris Flood. En ella se observa una distribución caótica de los componentes litológicos, destacándose la presencia de bloques de gran tamaño angulosos-subangulosos inmersos en una matriz sedimentaria de gravas gruesas a medias, puede observarse la muy pobre selección del depósito. Dicha secuencia tiene una potencia de 7,5 metros que se apoya en discordancia angular sobre sedimentos con disposición lenticular y estratificación plano paralela de sedimentos limo-arenosos que gradan lateralmente a sedimentos arenosos-gravosos pardos rojizos.



En cuanto a los sedimentos que son transportados por este río, predominan gravas gruesas al igual bloques de tamaño heterogéneos conformando depósitos de conglomerados polimícticos, como los observados en la cuenca Divisadero Largo; sin embargo es importante destacar la existencia cicatrices de deslizamientos no observadas en la cuenca anterior.

Cuenca del río Frías.

La cuenca del río Frías posee un área de 26 Km² ubicada al suroeste de la ciudad de Mendoza. En ella se localiza la presa de contención aluvional "dique Frías".

Esta cuenca tiene la característica de presentar sedimentos de edad terciaria y cuaternaria, los cuales son conglomerados además de gravas, arenas y limos asignados a las Formaciones Mariño y Mogotes. Estas se encuentran basculadas de 35° a 55° SW y con orientación N-S.

La situación tectónica en el área está enmarcada bajo el sistema de fallas cerro de la Gloria- cerro del Cristo y falla Punta del Agua hacia el oeste y falla La Cal hacia el este. Dicha cuenca se encuentra afectada históricamente por importantes antecedentes aluvionales asignados al siglo XX (durante la década de 1970), donde se registraron 105 mm en 1 hora (el 4 de enero de 1970), habiendo registros de intensidades de hasta 5 mm/min para dicho evento aluvional. Producto de este evento pluviométrico el dique de contención aluvional Frías sufrió un colapso lo cual generó un desastre de magnitudes importantes aguas abajo del mismo en la capital de Mendoza. Cabe destacar que dicha obra de contención está construida con una altura de 30 metros y con capacidad de embalse de 2,3 Hm³ de volumen de material.

Sobre el lecho del río Frías y en cercanías con el frente de la presa se observaron depósitos remanesentes de antiguas crecidas (figura 6). Estos materiales resultan ser más friables y deleznales, aún más que los observados en las otras cuencas por lo que un episodio pluviométrico de características similares a la de la década de 1970, transportaría una carga de materiales de fondo de manera importante provocando similares condiciones similares a las sucedidas en la fecha antes mencionada. La red de drenaje en esta cuenca se comporta de igual forma que en las anteriores cuencas, siendo obsecuente aunque de características dendrítico a subdendrítico en los sectores externos de la cuenca.

Figura 6. Imagen fotográfica tomada aguas abajo del dique Frías, en esta puede observarse en niveles superiores urbanizaciones. Con trama cuadriculada se destacan los depósitos de material.



**EVALUACIÓN, ZONIFICACIÓN Y PROPUESTAS DE MITIGACIÓN.
MATRIZ DE RIESGO GEOLÓGICO.**

Método y procedimiento de evaluación. Ejemplo.

A partir de la utilidad de diversas bibliografías basadas en la construcción de matrices, entre ellas Lozano Cortijo (2007) [15], el método por el cual se han obtenido resultados queda representado por una Matriz de Riesgo.

En cuanto a la metodología aplicada, se optó por utilizar el Método Heurístico, el cual establece la combinación de elementos del medio que son de carácter cualitativo y otros que son de características cuantitativas. El método heurístico de análisis supone una valoración subjetiva propuesta por el autor, el cual selecciona las variables más representativas del análisis, le asigna una ponderación (a mayor peso, mayor incidencia) y una valoración a cada uno de los indicadores de cada variable (a mayor valor, mayor incidencia).

El procedimiento de evaluación se basó en la construcción de una matriz en la cual se tuvieron en cuenta una serie de parámetros considerados de interés para su posterior valoración. Los parámetros considerados, a los fines prácticos de este trabajo se relacionan con los datos obtenidos de la Geomorfología, Hidrología, Litología, Estructuras Tectónicas, Obras Geotécnicas, Vegetación y Asentamientos Humanos del área de estudio (Delamarre, 2010) [16]. Ejemplo de ello, puede visualizarse en la figura 7

Figura 7. Grilla parcial de la matriz realizada, en este caso puede observarse los parámetros analizados para la unidad Geomorfología, observándose la unidad, elementos, códigos, clasificación y valoración correspondiente. (Delamarre, 2010) [16]

| Unidad | Elemento | Código | Valoración | |
|------------------------|----------|----------------|---------------|------------|
| | | GEOMORFOLOGIA | | |
| Pendiente | | Baja | 1 | |
| | | Media | 2 | |
| | | Alta | 3 | |
| Topografía | | Código | Clasificación | Valoración |
| | | Regular | Bajo-Muy Bajo | 1 |
| | | Combinada | Medio-Alto | 2 |
| Abanicos Aluviales | | Irregular | Alto-Muy Alto | 3 |
| | | Código | Clasificación | Valoración |
| | | Individuales | Muy Alto-Alto | 2 |
| Superficies de Erosión | | Solapados | Bajo-Medio | 1 |
| | | Telescópicos | | |
| | | Código | Clasificación | Valoración |
| Terrazas | | Actuales | Muy Alto-Alto | 2 |
| | | Antiguas | Bajo-Medio | 1 |
| Llanura de Inundación | | Código | Clasificación | Valoración |
| | | T1 | Muy Alto-Alto | 3 |
| | | T2 | Medio | 2 |
| | | T3 | | |
| Cauce | | T4 | Bajo | 1 |
| | | Código | Clasificación | Valoración |
| Cauce | | Sin Desarrollo | Muy Alto-Alto | 2 |
| | | Con Desarrollo | Bajo-Medio | 1 |
| Cauce | | Según Regimen | Efímero | 2 |
| | | | Permanente | 1 |

Clasificación vs. Valoración.

La clasificación y valoración como parámetros de carácter cualitativo y cuantitativo ha sido desarrollado en la matriz de riesgo siguiendo el orden de relación peor clasificación máximo puntaje (en relación con mayor valor, mayor incidencia) (Delamarre, 2010) [16] Lo mencionado anteriormente queda graficado de la siguiente tabla:

| Clasificación | Valoración |
|---------------|------------|
| Muy Alto | 5 |
| Alto | 4 |
| Moderado | 3 |
| Bajo | 2 |
| Muy Bajo | 1 |

Los colores con los cuales se ha identificado a cada clasificación son indicadores visuales de su valoración y su clasificación respectivamente. Estos indicadores han variado a través del proceso de puntuación según el elemento y el código particular de cada uno de ellos, de esta forma los sinónimos utilizados para adaptar la anterior clasificación y valoración han sido los siguientes:

| Clasificación | Sinónimos | Valoración |
|----------------------|--|-------------------|
| Muy Alto | Reducido, Muy Malo, Desfavorable, No Aceptable, No Protegido | 5 |
| Alto | Reducido, Muy Malo, No Aceptable, No Protegido | 4 |
| Moderado | Regular, Poco Favorable | 3 |
| Bajo | Bajo, Extenso, Bueno | 2 |
| Muy Bajo | Muy Bueno, Aceptable, Favorable, Protegido | 1 |

Peor, intermedio y mejor escenario.

Para comprobar la funcionalidad de la matriz de riesgo, se planteó la hipótesis de mejor, intermedio y peor escenario posible. La metodología que se empleó resultó de una sumatoria de puntajes de alto, medio y bajo valor, que se correspondieron con la clasificación particular de cada elemento y código específico de la unidad analizada. Los escenarios implican una forma subjetiva, gráfica y numérica de pronosticar bajo qué condiciones del medio natural, el medio socio-económico de una región se encuentra afectado. Dentro de la afección determinada por el valor numérico obtenido es posible estimar el riesgo geológico de la/las cuenca/s analizada/s. De la sumatoria de peor, intermedio y mejor escenario se obtuvieron los siguientes resultados:

| Escenario | Rango en puntos | Cuantificación de Riesgo |
|------------------|------------------------|---------------------------------|
| Mejor | 60 | Bajo |
| Medio | 60-79 | Medio |
| Peor | 79-90 o >90 | Alto/Muy Alto |

La tabla anterior expresa que:

- El mejor escenario presenta una valoración estándar de 60 o menor de 60, implicando que bajo esta puntuación la cuenca o cuencas analizada/s presenta/n un Riesgo Bajo de DF
- Para un escenario intermedio la valoración estándar fluctúa entre 60-79, implicando que bajo esta puntuación la cuenca o cuencas analizada/s presenta/n un Riesgo Medio de DF
- En el peor escenario posible la valoración estándar varía entre 79-90 ó mayor de 90, implicando que bajo esta puntuación la cuenca o cuencas analizada/s presenta/n un Riesgo Alto/Muy Alto de DF.

Cabe destacar que los valores correspondientes con la tabla anterior, reflejan las condiciones lógicas de eventualidad del fenómeno natural investigado en este trabajo.

RESULTADOS

Zonificación

A partir de la aplicación directa a este trabajo de investigación, la zonificación ha sido aplicada en las tres cuencas que fueron analizadas en el sitio de estudio.

Desde la perspectiva del análisis de riesgo de remoción en masa y de la matriz construida para dichos fines, la zonificación propuesta queda enmarcada en las cuencas San Isidro, Papagayos y Frías.

Como fue descrito en el inciso anterior, las tres cuencas presentan un riesgo alto de remoción en masa, por lo que dentro de cada una de ellas es posible zonificar aquellos sectores de alto/muy alto, medio y bajo riesgo (figura 8, 9 y 10).

Para la cuenca San Isidro se han distinguido 4 áreas que responden a la zonificación propuesta en este punto. La cuenca se extiende con orientación oeste-este según la pendiente regional y a partir de esta orientación las áreas que presentan muy alto-alto, moderado, bajo y muy bajo riesgo. El área de moderado riesgo está más acentuada que las áreas de muy alto-alto, bajo y muy bajo riesgo.

En el caso de la cuenca Papagayos, el área de influencia de muy alto-alto riesgo es mayor que en el caso de la cuenca anterior. Mientras que las áreas de influencia de riesgo moderado, bajo a muy bajo es más reducido que en la cuenca San Isidro y Frías.

Las áreas de zonificación de riesgo en la cuenca del río Frías está domina por muy alto-alto riesgo, mientras que los sitios de moderado, bajo y muy bajo riesgo son mucho más similares que en los casos de las cuencas San Isidro y Papagayos.

Figura 8. Imagen satelital Google Earth en la cual puede observarse la zonificación de la cuenca San Isidro. Esta cuenca es una cuenca de alto riesgo de debris flood (94 puntos), pero a partir de zonificarla se determinó que el área marcada en color rojo presenta Muy Alto a Alto Riesgo; el área marcada con color naranja presenta Moderado Riesgo; mientras que las marcadas en color Amarillo y Verde presenta Bajo a Muy Bajo Riesgo.



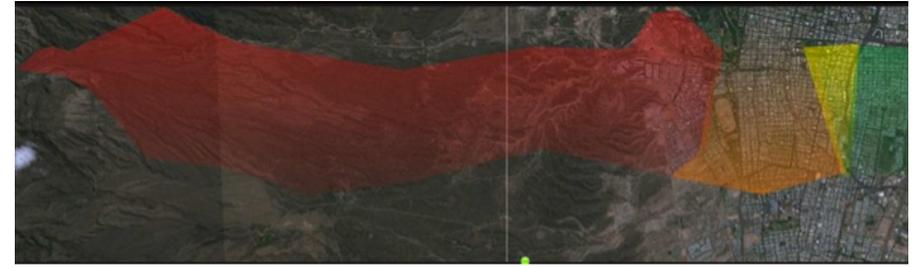
Figura 9. Imagen satelital Google Earth en la cual puede observarse la zonificación de la cuenca Papagayos. Esta cuenca es una cuenca de alto riesgo de debris flood (117 puntos), pero a partir de zonificarla se determinó que el área marcada en color rojo presenta Muy Alto a Alto Riesgo; el área marcada con color naranja presenta Moderado Riesgo; mientras que las marcadas en color Amarillo y Verde presenta Bajo a Muy Bajo Riesgo.



DISCUSIÓN

A partir del análisis realizado por medio de la utilización de la matriz de riesgo, se sugiere que para el cálculo del parámetro de vulnerabilidad es necesario estudios más detallados de distintas áreas profesionales, enmarcando este trabajo bajo la configuración de un trabajo inter-disciplinario, para lograr que los resultados se amolden en forma más certera a la realidad de la problemática. Así mismo se presenta en esta ocasión solo una parcialidad de la investigación desarrollada.

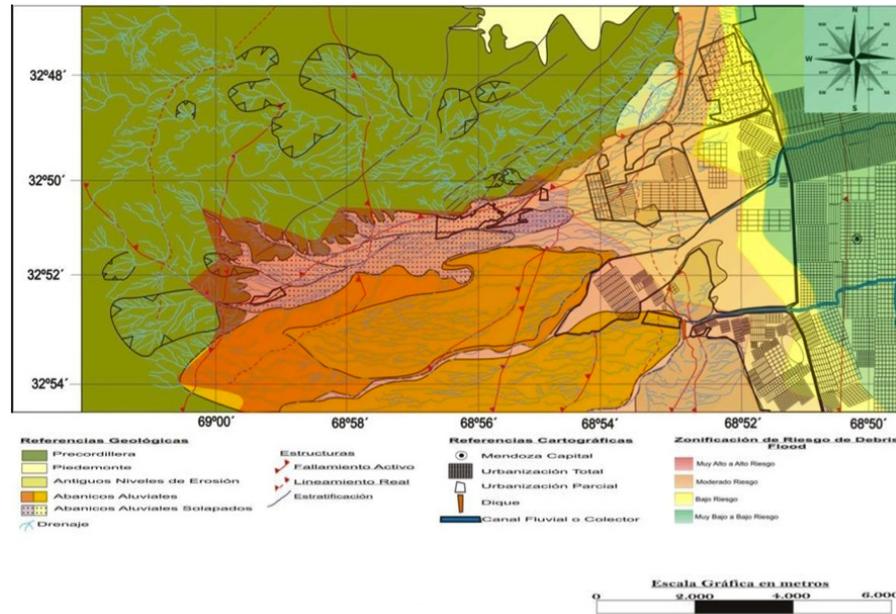
Figura 10. Imagen satelital Google Earth en la cual puede observarse la zonificación de la cuenca del río Frías. Esta cuenca es una cuenca de alto riesgo de debris flood (113 puntos), pero a partir de zonificarla se determinó que el área marcada en color rojo presenta Muy Alto a Alto Riesgo; el área marcada con color naranja presenta un Moderado Riesgo; mientras que las marcadas en color Amarillo y Verde presenta Bajo a Muy Bajo Riesgo.



CONCLUSIONES

- Debido a fenómenos pluviométricos de corta duración temporal, gran intensidad y volumen de agua liberado se generan los procesos de debris flood.
- La vegetación presente en el sector, presenta baja densidad y poca altura por lo que el evento de remoción en masa presenta un disparador importante al momento de su ocurrencia.
- La colmatación sedimentaria, la falta de control estructural de defensas aluvionales además de su mantenimiento, genera que estas puedan ser inútiles ante fenómenos pluviométricos extraordinarios desde la óptica del peor escenario posible en el sector.
- El área al noroeste de la ciudad de Mendoza, integrada por la unidad del piedemonte presenta una zonificación de riesgo geológico muy alto a alto de debris flood, disminuyendo esta tendencia hacia el este de dicha unidad, sobre la cual se ubica la capital de la provincia y sus departamentos aledaños.
- De la matriz de riesgo resulta que las tres cuencas presentan riesgo geológico (DF) Alto - Muy Alto con valor fluctuante entre 90-117. La cuenca Papagayos es la que más riesgo presenta (ubicada en el sector medio del área de estudio) con valor de 117; aquella de riesgo intermedio (aunque alto-muy alto) es la cuenca del río Frías (ubicada hacia el sur) con valor de 113, mientras que la cuenca San Isidro (localizada hacia el norte) es aquella de menor riesgo geológico con valor de 94.

Figura 11. Mapa de Zonificación de Inundación de Detritos en el Área Metropolitana de Mendoza.



AGRADECIMIENTOS

Este trabajo contó con el apoyo económico del proyecto "Evaluación, Zonificación y Elaboración de Propuestas de Mitigación de los Riesgos Naturales en el Área Metropolitana de la Ciudad De Mendoza" financiado por la Universidad de Congreso y la Secretaría de Medio Ambiente de Mendoza

REFERENCIAS

- [1] Abraham, E., Roig, F., Ibañez, G., Salomón, M. y Llorens, R. (2002). Aptitud Urbana del Piedemonte al Oeste del Gran Mendoza. IX Jornadas Cuyanas de Geografía.
- [2] Hungr, O.; Evans, S. G.; Bovis M. y Hutchinson, J. N (2001). Review of the classification of landslides of the flow type. *Environmental and Engineering Geoscience*, VII, 221-238.
- [3] Pedraza Gilsanz (1996). Remoción en Masa. En *Geomorfología: principios, métodos y aplicaciones*. Madrid.
- [4] Varnes, D. J. (1958). *Landslide types and processes*. NAS-NCR Publication. Pp 20-47, 544.

- [5] Everard, C. E. (1963). Contrasts in the form and evolution of hill-side slopes in central Cyprus. *Transitions Institute British Geographers*. Pags. 31-47.
- [6] Regairaz, A. C. y Barrera, R.O. (1975). Formaciones del Cuaternario, unidades geomorfológicas y su relación con el escurrimiento de las aguas en el Piedemonte de la Precordillera. *Anais da Academia Brasileira de Ciencias* 47 (Suplemento):5-20, Rio de Janeiro.
- [7] Polanski, J. (1954). Rasgos geomorfológicos del territorio de la provincia de Mendoza. Ministerio de Economía, Instituto de investigaciones economicas y tecnologicas. Cuaderno de investigaciones y estudios, 4: 4-10. Mendoza.
- [8] Polanski, J. (1966). *Flujos Rápidos de escombros rocosos en zonas áridas y volcánicas (Vols. I-XVII)*. Buenos Aires: Eudeba.
- [9] Vich, A. y Pedrani, A. (1993). *Manejo Ecológico del Piedemonte*. Ministerio de Medio Ambiente Urbanismo y Vivienda. Unidad de Manejo Ecológico de Cuencas. CRICYT. Mendoza. Argentina.
- [10] González, M. A.; Gonzalez Díaz, E. F.; Sepúlveda, E.; Regairaz, M. C.; Costa, C.; Cisneros, H.; Bea, S.; Gardini, C.; Pérez, I. y Pérez, M. (2002). *Carta de peligrosidad Geológica 3369 –II*. Mendoza. Provincias de Mendoza y San Juan. Subsecretaría de Minería de la Nación y Servicio Geológico Minero Argentino, Mendoza.
- [11] Nave, M.; Pedrani, A.; Vich, A. I. y Mariani, A. (1997). Caracterización del Proceso de Infiltración en el Piedemonte Mendocino. 145-149.
- [12] Maza (2004). *Problemática aluvional de la ciudad de Mendoza. Tormenta de Proyecto en Mendoza*. CONICMEN y CONICET. Mendoza, Argentina.
- [13] Pérez G. (2002). Análisis de la vulnerabilidad de los recursos ambientales del área "Cuenca del Maure" a través de herramientas SIG.
- [14] Anteproyecto: *Ley de Ordenamiento Territorial y Usos del Suelo. Marco regulatorio. Provincia de Mendoza (2007)*. Gobierno de la Provincia de Mendoza. Mendoza, Argentina.
- [15] Lozano Cortijo, O. (2007). *Metodología para el análisis de vulnerabilidad y riesgo ante inundaciones y sismos, de las edificaciones en centros urbanos*. Centro de estudios y prevención de desastres. Pp 57-86.
- [16] Delamarre, J. C. (2010). *Evaluación, zonificación y elaboración de propuestas de mitigación del riesgo de remoción en masa al noroeste de la ciudad de Mendoza*. Mendoza, Argentina. Tesis de licenciatura en Ciencias Geológicas. Documento inedito. Departamento de Geología. Facultad de Ciencias Físico Matemáticas y Naturales. Universidad Nacional de San Luis. San Luis, Argentina. Pp 175.

30 años de fluctuaciones glaciarias en el área del Monte San Lorenzo (47° S), Andes Patagónicos, Argentina

**D. Falaschi,
S. Delgado,
M. Masiokas.**

Instituto Argentino de Nivología, Glaciología y Ciencias Ambientales (IANIGLA.)
e-mail: dfalaschi@mendoza-conicet.gov.ar

RESUMEN

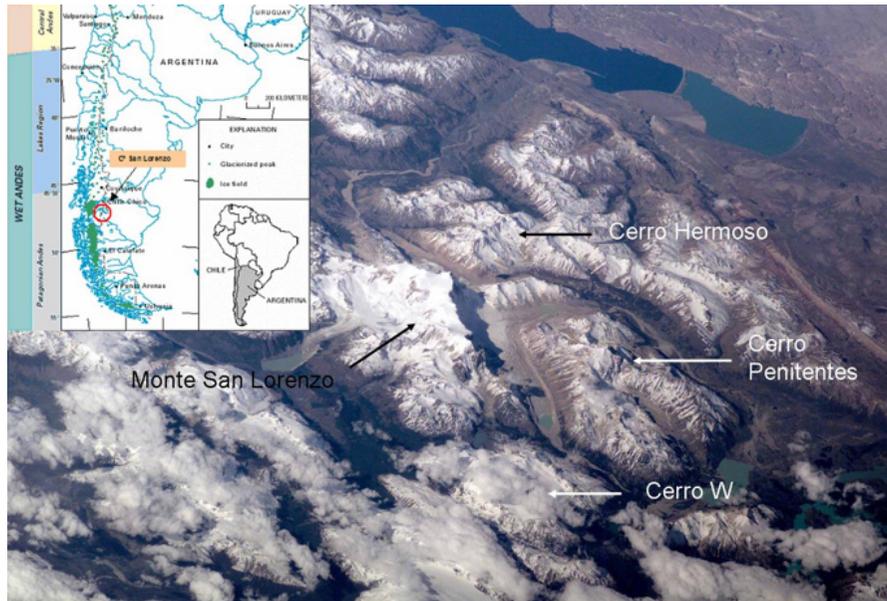
Los glaciares constituyen un factor clave en el entendimiento del cambio climático. Con algunas excepciones, han experimentado un marcado retroceso general a escala global durante el último siglo. En los Andes Húmedos de la Patagonia, el deterioro de los glaciares alpinos ha sido documentado por numerosos autores. Para el Monte San Lorenzo, estudios preliminares indicaron una superficie englazada de 107 km² para el año 2004 y una reducción de casi el 24% de la misma para el período 1984-2004. El presente estudio hace uso de una combinación de imágenes satelitales LANDSAT y ASTER, ampliando el período de análisis entre 1979-2008 y focalizándose en los glaciares del sector argentino (este) del Monte San Lorenzo. Incorpora además los macizos del Cerro Hermoso, Penitentes y W. Con el objetivo de obtener resultados comparativos, las imágenes de diferentes años fueron georeferenciadas mediante un proceso "imagen a imagen". Siguiendo la metodología GLIMS (Global Land Ice Measurements from Space), la identificación de superficies cubiertas de hielo se realizó mediante el método del cociente de bandas y posteriormente se corrigieron y se mapearon los sectores de hielo cubierto mediante digitalización manual. Para la delimitación de las cuencas hidrográficas se utilizó el Modelo Digital de Elevación ASTER GDEM de 30 metros de resolución espacial. La reducción de la superficie de los glaciares varía entre el 16% y el 77%, dependiendo de su superficie, orientación y situación geográfica. Para la totalidad del área de estudio se estimó una pérdida del 31% del área englazada.

INTRODUCCIÓN

Área de estudio y estudios previos

El Monte San Lorenzo (47° 36' S, 72° 20' W) constituye un macizo englazado aislado de los Campos de Hielo Patagónico Norte y Sur, situándose sobre el límite internacional argentino-chileno en los Andes Húmedos [1]. Su cumbre granítica, de 3706 m de altura, es la tercera en los Andes Patagónicos Australes, por debajo del Monte San Valentín y Cuerno de Plata [2]. Caldenius (1932) describe a este macizo como el de mayor superficie englazada más allá de los Campos de Hielo Patagónicos [3] e incluyó los sistemas morénicos y lagos proglaciales durante su reconocimiento de los Andes Australes y la región de Tierra del Fuego. Posteriormente, el padre salesiano Alberto De Agostini realizó una circunvalación del macizo en sucesivas expediciones (1940, 1941, 1943 y 1947) en búsqueda del mejor acceso para alcanzar a su cumbre. De Agostini proveería de una colección de fotografías de campo de gran calidad [4]. Mercer fue el primero en describir el retroceso glaciar en la región mediante la comparación de fotografías históricas [5]. Fluctuaciones glaciarias de la Pequeña Edad de Hielo (Little Ice Age) en el sector chileno del Monte San Lorenzo (o Cochrane, por su denominación en ese país) fueron presentadas por Aravena [6], donde se identificaron sistemas morénicos para los glaciares Calluqueo, Río Tranquilo y San Lorenzo. García Zamora et al. [7] presentaron un estudio dendroglaciológico del Glaciar San Lorenzo Sur identificando y datando al menos cuatro pulsos de avances del hielo asociados a la PEH.

Figura 1: Ubicación del área de estudio y división de macizos montañosos en el área del Monte San Lorenzo.



Material utilizado

Para realizar el mapeo y análisis de fluctuaciones entre los años 1979 a 2008 se utilizaron cinco imágenes satelitales ortorectificadas y sin correcciones radiométricas, provistas por el USGS (<http://glovis.usgs.gov/>).

Tabla I: imágenes satelitales utilizadas

| Año | Sensor | ID | Fecha de adquisición |
|------|--------------|--|----------------------|
| 1979 | Landsat MSS | LM2248093007902210 | 22-1-79 |
| 1985 | Landsat TM | L5231093_09319850127 | 27-1-85 |
| 2000 | Landsat ETM+ | L71231093_0932000011 | 13-1-00 |
| 2005 | Aster | AST14DMO_00302202005143546_20100525110041_7885 | 20-2-05 |
| 2008 | Landsat ETM+ | L71231093_09320080204 | 4-2-2008 |

Las imágenes satelitales deben cumplir con dos condiciones para que tengan potencial para ser utilizadas en el mapeo de glaciares:

En primer lugar, deben tener la menor cobertura de nubes posible, dado que las mismas no son transparentes a las imágenes satelitales ópticas. Asimismo las sombras de las nubes pueden ocultar el hielo o dificultar su identificación. Existen metodologías para remover la cobertura nubosa como ser el ACCA (Automated Cloud Cover Assessment) Algorithm [8], no utilizado en el desarrollo del presente trabajo. La imagen ASTER correspondiente al año 2005 presenta nubes sobre el Cerro Hermoso por lo cual no pudieron cuantificarse los cuerpos de hielo para este macizo en particular.

La segunda condición está dada por la presencia de nieve estacional. En términos generales, las imágenes satelitales obtenidas al final del período de ablación (Febrero-Marzo para el Hemisferio Sur), cuando la nieve del invierno anterior se encuentra en sus niveles mínimos, son las indicadas para la identificación de cuerpos de hielo. Sin embargo, existen años en que las imágenes disponibles a finales del verano aún presentan abundante nieve estacional. Éste fue el caso de las imágenes ASTER disponibles para los años 2003 y 2007, que fueron descartadas de los análisis. La nieve estacional dificulta la delimitación de las divisorias de cuenca o bien puede provocar el error de sobredimensionar la superficie de un glaciar si su perímetro se encuentra cubierto por ella. Una equivocación semejante podría resultar en que la superficie de un glaciar para un determinado año es mayor a la de un año posterior. Mediante un análisis multitemporal detallado es posible reducir en gran medida esta incertidumbre. En el presente trabajo y para los sectores de cabecera de un glaciar, cuando se presentó la situación mencionada, se "clipearon" o ajustaron las secciones del perímetro del glaciar que presentaba nieve estacional, haciendo coincidir su límite con el del mismo glaciar de la imagen satelital del año anterior disponible. Esta operación brinda entonces un área máxima para el glaciar en cuestión, dado que no es posible establecer su límite fehacientemente. Las mediciones para el año 1979 pueden estar discretamente sobrevaluadas dado que no se contaba con imágenes de años anteriores próximos para eliminar la nieve estacional.

La delimitación semiautomática de cuencas hidrográficas requiere de un modelo digital de elevación (Digital Elevation Model, DEM, por sus siglas en inglés). Existen dos DEMs de escala global y de acceso gratuito: el SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) de 90 metros de resolución espacial y el ASTER GDEM de 30 metros de resolución. Este último fue utilizado para el trazado de las cuencas hidrográficas, dada su mayor resolución y una buena georeferenciación respecto de la imagen ASTER del año 2005, que fue la elegida para efectuar esta tarea.

METODOLOGÍA UTILIZADA

El área de estudio fue subdividida en cuatro macizos montañosos con condiciones particulares (topografía, orientación de laderas, tipos de glaciares) que a su vez nuclean 13 subcuencas (Tabla II). Se utilizó la subrutina Hydro del Software ArcGis 9.3 para la delimitación automática de cuencas hidrográficas sobre la base de la imagen ASTG-TM_S48W073, correspondiente al DEM que cubre el área de estudio que cubre el área de estudio. La baja resolución de este modelo produce, en zonas de relieve accidentado, importantes diferencias entre las alturas reales y las equivalentes del DEM, que superan los 100 metros [9]. Además, las divisorias de aguas que surcan las crestas principales se encuentran desplazadas al menos en 2-3 píxel respecto de la imagen Aster 2005. A pesar de que el Cerro Hermoso se encuentra cubierto de nubes en esta imagen, ésta es la de mayor resolución geométrica (15m) y la que presenta menor cantidad de nieve estacional, por lo que se facilita la digitalización manual para la corrección de los límites de cuenca.

Tabla II: División de macizos y subcuencas, que recibieron una denominación informal para la realización del presente trabajo.

| Macizo Montañoso | Subcuencas |
|---|--|
| Monte San Lorenzo (Vertiente Argentina únicamente) | San Lorenzo Norte San Lorenzo Este San Lorenzo Sur |
| Cerro Hermoso | Hermoso Hermoso Norte Hermoso Este |
| Cerro W | Sobral Oeste Sobral Sobral Este Sobral Noreste |
| Cerro Penitentes | Penitentes Penitentes Este Penitentes Suroeste |

Las imágenes LANDSAT fueron georeferenciadas en base a la imagen ASTER 2005 mediante un proceso "imagen a imagen". La selección interactiva de 15 Puntos de Control de Terreno (Ground Control Points, GCP) para los sensores LANDSAT TM y ETM+ arrojaron errores cuadráticos medios (RMS) entre 0,52-0,98. El RMS es una medida que indica la discrepancia entre puntos de control conocidos y su nueva ubicación digitalizada.

Por otra parte, los 18 GCP para el sensor LANDSAT MSS mostraron un RMS de 1,7. Debido a una mala georeferenciación primaria de esta imagen y la baja resolución (60m) de la misma no se pudieron obtener mejores resultados.

Para el mapeo de los cuerpos de hielo se siguió la metodología propuesta por GLIMS (Global Land Ice Measurements from Space), que consiste en la identificación de hielo mediante el método del cociente de bandas (LANDSAT TM3/LANDSAT TM5) y ASTER (NIR3/ ASTER SWIR4), y posteriormente se corrigieron los resultados mediante digitalización manual. El cociente de bandas LANDSAT TM3/TM5 resulta más idóneo que el cociente TM4/TM5 para la identificación de hielo en sombra. Sin embargo, a pesar de ser una alternativa relativamente rápida, sólida y eficaz, esta metodología presenta algunas deficiencias al momento del mapeo de los límites de glaciares como la cobertura nubosa y nieve estacional, deficiente detección de lagos proglaciares, hielo en sombra, glaciares cubiertos y divisorias de hielo. Estos sectores generalmente deben ser redigitizados manualmente en una tarea laboriosa y prolongada. El resultado del cociente de bandas se vuelca sobre una composición de falso color RGB (combinaciones de bandas 543 y 321 para Landsat y Aster respectivamente), a partir de la cual se efectúan las correcciones.

En este trabajo el límite inferior de superficie para que un cuerpo sea considerado como glaciar se establece en 0,01 km² (una hectárea).

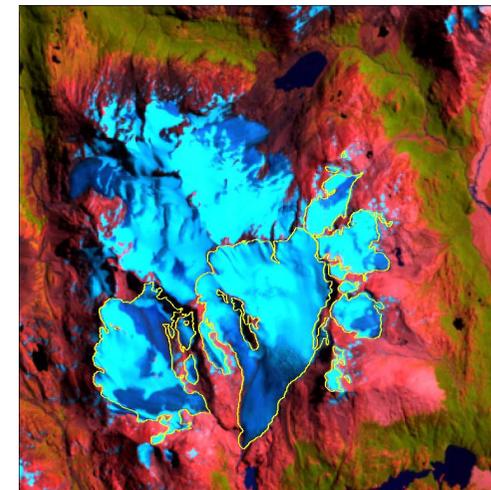


Figura 2: Composición falso color RGB 321 para la imagen Aster 2005 con los vectores finales para el Cerro W.

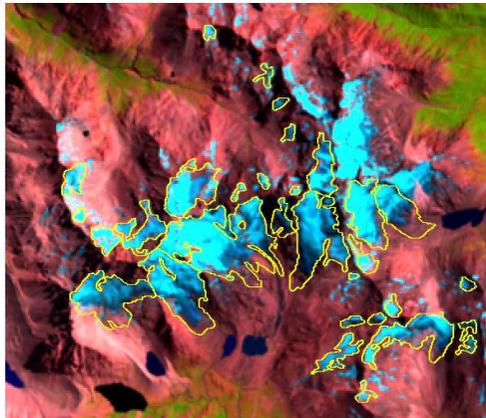


Figura 3: Composición falso color RGB 543 para la imagen Landsat 1985 con los vectores finales para el Cerro Hermoso.

RESULTADOS

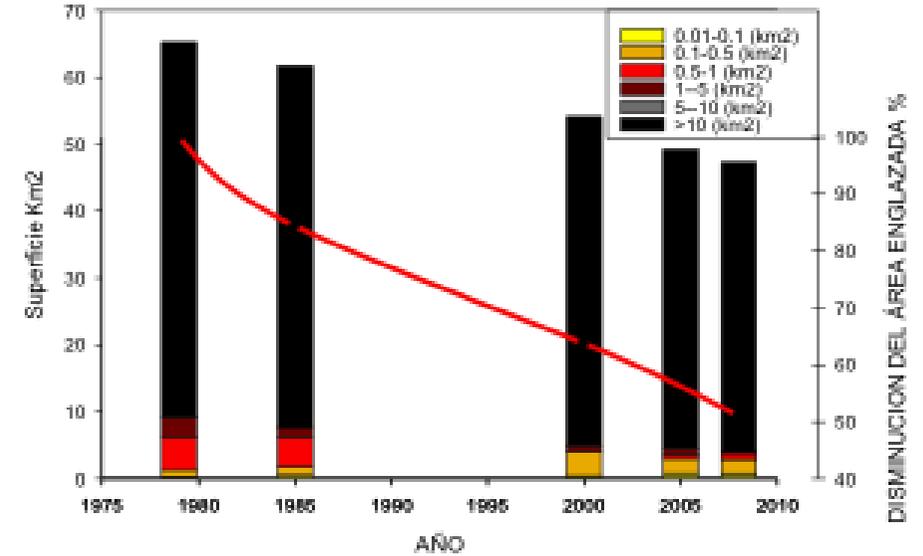
Monte San Lorenzo

Este sector presenta tres grandes glaciares cubiertos que superan los 10 km² (San Lorenzo, Río Oro y Río Lácteo), y que constituyen la gran mayoría de la superficie englazada (Figura 4) en esta zona. El resto de los cuerpos de hielo en este macizo lo conforman manchones de nieve perennes y glaciares descubiertos menores a 1 km². La mayor parte de masa glaciaria está en las posiciones topográficas relativamente bajas y presenta una importante cobertura de detritos. La reducción del área cubierta de hielo para este macizo es una de las menores (28%, Tabla III) respecto de otros sectores que no presentan hielo cubierto. Una posible explicación radica en que la cubierta de detritos sobre los glaciares protege a los mismos de la radiación solar previniendo la ablación. También es probable que estos glaciares estén perdiendo volumen mayormente por adelgazamiento y no por retroceso de sus frentes (Fig. 5).

Tabla III: Superficies (km²) de los tres glaciares principales del Monte San Lorenzo y su reducción porcentual para el período de estudio 1979-2008.

| Glaciar | Superficie 1979 | Superficie 1985 | Superficie 2000 | Superficie 2005 | Superficie 2008 | Reducción% 1979-2008 |
|-------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|----------------------|
| San Lorenzo | 24.14 | 23.11 | 21.98 | 19.80 | 19.50 | 19.22 |
| Río Lácteo | 18.63 | 14.21 | 12.38 | 11.53 | 11.00 | 40.95 |
| Río Oro | 17.42 | 16.69 | 14.73 | 13.32 | 12.99 | 25.43 |
| TOTAL | 60.19 | 54.01 | 49.09 | 44.65 | 43.49 | 28.01 |

Figura 4: Fluctuaciones por Clase de superficie y disminución % del área cubierta de hielo respecto al año 1979 para el Monte San Lorenzo.



Cerro W

Este macizo se sitúa directamente al sur del Monte San Lorenzo en la zona limítrofe entre Argentina y Chile. El Cerro W muestra los menores tenores de reducción (23%) de área englazada. El hecho de que los glaciares mayores se orienten al sur y su situación geográfica situada al oeste, con mayores precipitaciones, podrían proporcionar mejores condiciones para su preservación.

Aún así, los glaciares con orientación E-NE, expuestos más prolongadamente a la radiación que aquellos con orientación sur, muestran una reducción que al menos duplica (18% vs. 37% en término medio, Tabla IV) a la de los dos glaciares mayores de este macizo, denominados genéricamente Glaciar Sobral. Esta condición da como resultado un mayor número de glaciares reducidos en superficie al este y noreste y una mayor masa glaciaria concentrada en unos pocos glaciares grandes con orientación sur. La Figura 6 evidencia cómo la pérdida de área del único glaciar con una superficie superior a los 10 km² produjo la desaparición de esta clase de superficie que pasó a engrosar el número de glaciares más pequeños en la clase inmediatamente inferior.

Figura 5: Imagen del Monte San Lorenzo visto desde el Este en los años 1937 (Foto De Agostini), 1999 (Foto Villalba) y 2010 (Foto Ripalta). La elipse roja muestra un importante adelgazamiento y retroceso del Glaciar Río Lácteo.

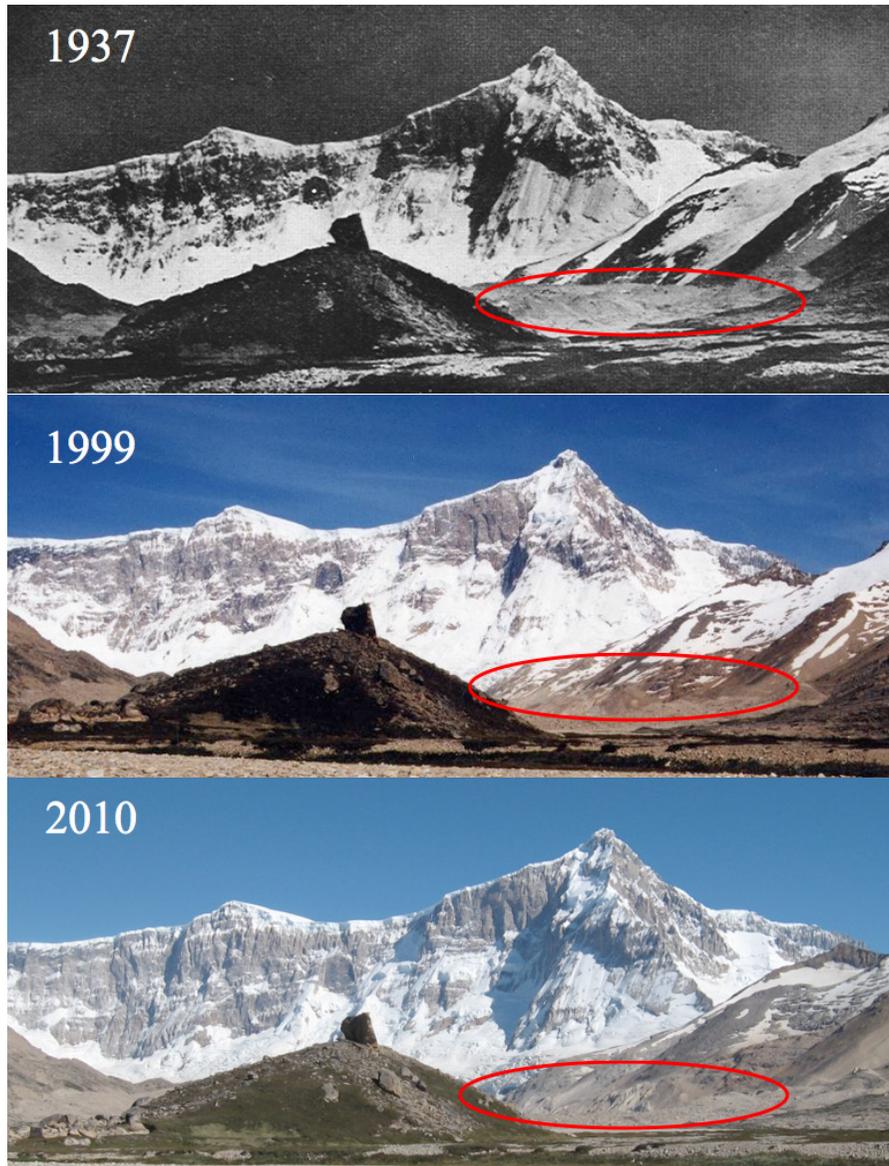
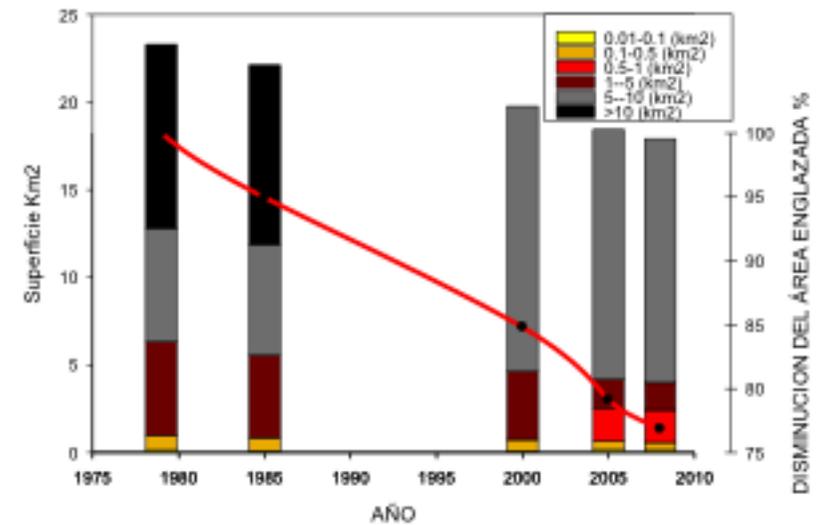


Tabla IV: Superficies cubiertas de hielo (km²) para las subcuencas del Cerro W y su reducción porcentual para el período de estudio.

| Subcuenca | Superficie 1979 | Superficie 1985 | Superficie 2000 | Superficie 2005 | Superficie 2008 | Reducción % 1979-2008 |
|----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------------|
| Sobral Oeste | 6.79 | 6.61 | 5.99 | 5.40 | 5.40 | 19.36 |
| Sobral Noreste | 1.54 | 1.27 | 1.12 | 1.01 | 0.98 | 35.96 |
| Sobral Este | 4.44 | 3.94 | 3.19 | 2.90 | 2.74 | 38.36 |
| TOTAL | 23.27 | 22.09 | 19.75 | 18.41 | 17.88 | 23.16 |

Figura 6: Fluctuaciones por Clase de superficie y disminución % del área cubierta de hielo respecto al año 1979 para el Cerro W.



Cerro Hermoso (Figura 7)

El Cerro Hermoso se sitúa hacia el noreste del área de estudio, por lo cual está expuesto a mayores temperaturas y menores precipitaciones que los macizos del Monte San Lorenzo y Cerro W. Estos factores probablemente contribuyeron a que estos glaciares hayan sido aquéllos que han experimentado el mayor retroceso en las últimas décadas (49% en total, Tabla V). La clase predominante (0,5-1 km²) resulta la de menor superficie respecto al resto de los macizos (Figura 8) y se evidencia también la ausencia total

en la actualidad de glaciares mayores a 1 km². Morfológicamente, los cuerpos de hielo consisten mayormente en manchones de nieve perenne o glaciarettes de reducido tamaño. Los glaciares orientados al sur no superan los 2 km² de extensión, y algunos de ellos presentan una reducida cubierta de detritos en su sección terminal.

Tabla V: Superficies cubiertas de hielo para las subcuencas del Cerro Hermoso y su reducción % para el período de estudio. La imagen Aster 2005 presentaba una espesa cobertura de nubes por lo que no se pudieron estimar superficies cubiertas de hielo para este macizo.

| Subcuenca | Superficie km ² 1979 | Superficie km ² 1985 | Superficie km ² 2000 | Superficie km ² 2008 | Reducción% 1979-2008 |
|---------------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|----------------------|
| Hermoso | 7.23 | 6.17 | 4.96 | 4.24 | 41.31 |
| Hermoso Este | 3.15 | 2.70 | 1.97 | 1.76 | 44.04 |
| Hermoso Norte | 2.50 | 2.00 | 1.28 | 0.56 | 77.39 |
| TOTAL | 12.88 | 10.87 | 8.21 | 6.56 | 49.06 |

La reducción del área englazada supera el 40% para este macizo (Tabla VI). Los glaciares con superficies entre 1-5 km² y porciones terminales cubiertas por detrito son la característica más saliente del macizo Penitentes. El mayor de estos glaciares se encuentra en conexión con glaciares descubiertos y algunos glaciares de escombros (que no fueron mapeados en este estudio). El mismo sobrepasaba los 5 km² de superficie tres décadas atrás pero en la actualidad ha retrocedido y se ha extendido el lago proglaciar. Al igual que en el Cerro W, la pérdida de área de este glaciar produjo la desaparición de la correspondiente clase de superficie y el crecimiento de la clase inmediatamente inferior. Las morenas laterales podrían contener núcleos de hielo.

Tabla VI: Superficies cubiertas de hielo (km²) para las subcuencas del Cerro Penitentes y su reducción porcentual para el período de estudio.

| Subcuenca | Superficie 1979 | Superficie 1985 | Superficie 2000 | Superficie 2005 | Superficie 2008 | Reducción% 1979-2008 |
|---------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|----------------------|
| Penitentes | 12.54 | 11.87 | 10.48 | 9.06 | 8.53 | 31.98 |
| Penitentes Este | 5.01 | 4.13 | 2.87 | 2.38 | 2.11 | 57.84 |
| Penitentes Suroeste | 2.45 | 2.17 | 1.67 | 1.45 | 1.30 | 46.79 |
| TOTAL | 20.00 | 18.17 | 15.02 | 12.89 | 11.94 | 40.3 |

Figura 7: Imagen del Cerro Hermoso visto desde el sur en los años 1937 (Foto De Agostini) y 2010 (Foto Villalba).



Figura 8: Fluctuaciones por Clase de superficie y disminución % del área cubierta de hielo respecto al año 1979 para el Cerro Hermoso.
Cerro Penitentes

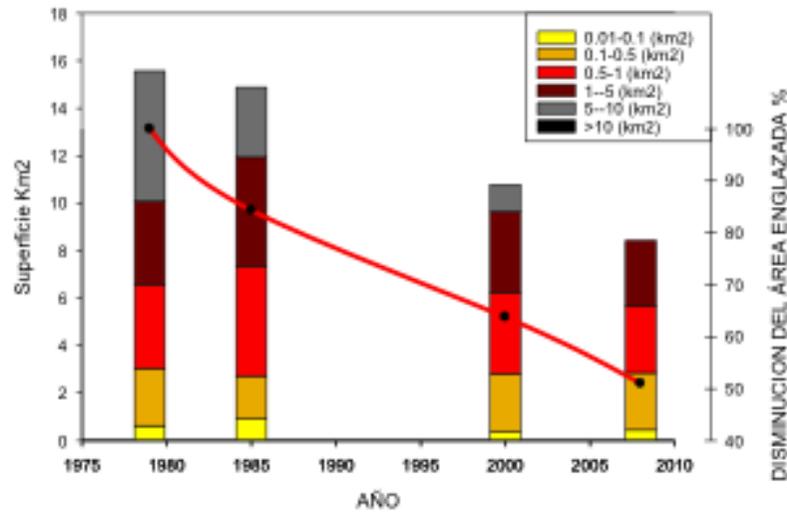


Figura 9: Fluctuaciones por Clase de superficie y disminución % del área cubierta de hielo respecto al año 1979 para el Cerro Penitentes

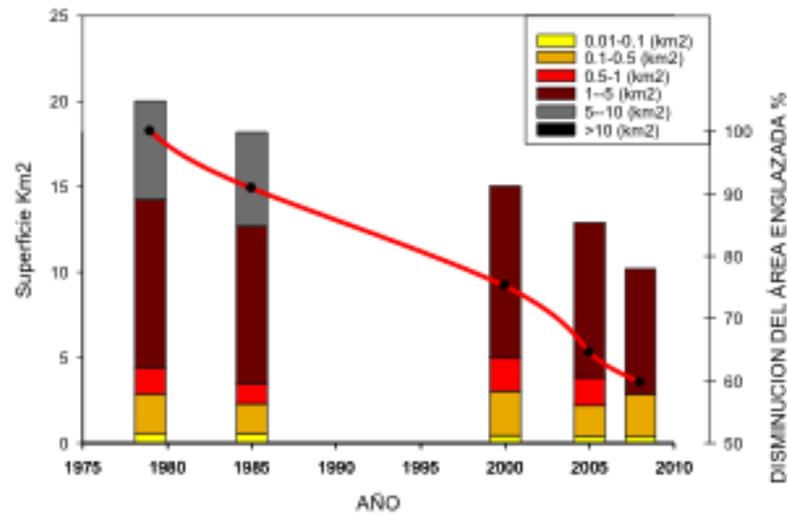
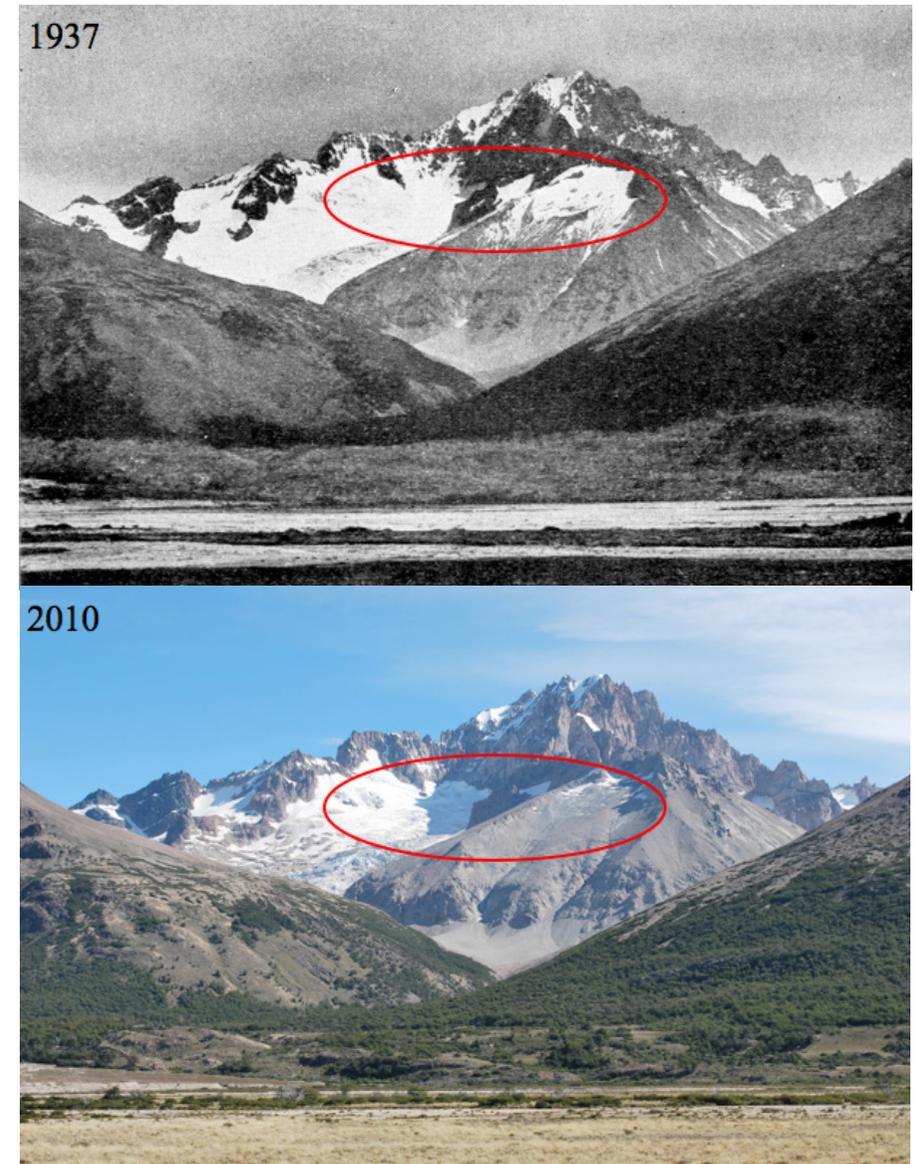


Figura 10: Cerro Penitentes desde el este en los años 1937 (Foto De Agostini) y 2010 (Foto Villalba) donde se observa una reducción del área englazada. La elipse roja evidencia el retroceso de glaciares de circo.



DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

- El análisis de las fluctuaciones para el área de estudio indica que en las últimas tres décadas la superficie cubierta de hielo ha ido mermando constantemente a razón de entre 0,9-1,9 % anual, siendo el período 2000-2005 el de mayor disminución del área englazada (Tabla XIII).
- Evaluadas en su conjunto, la disminución total de superficies cubiertas de hielo resulta del 31,13% (Tabla IX).
- En general, en el área de estudio el mayor número de glaciares está representado por cuerpos de hielo de poca extensión (Clases 0,01-0,1 km2). Estos glaciares superan numéricamente en al menos un orden de magnitud a las clases superficiales más grandes (Clases XX-XX), pero constituyen un escaso porcentaje en superficie, que no sobrepasa el 10% del área englazada total (Figura 11b). Por el contrario, los tres glaciares mayores a 10 km2 del Monte San Lorenzo representan entre el 50-60% del área englazada total.
- El macizo del Cerro Hermoso es aquél que ha sufrido mayor merma en su masa glaciaria, habiendo disminuido ésta casi un 50% en el período 1979-2008. Por el contrario el Cerro W ha perdido menos de un 25% de su superficie cubierta de hielo, mientras que el Monte San Lorenzo y el Cerro Penitentes han perdido un 27 % y un 40% respectivamente (Tabla VIII).
- Los glaciares con orientación E-NE (Hermoso, Penitentes) presentan indefectiblemente mayores tasas de reducción que aquellos orientados al S, siendo la excepción los glaciares cubiertos (Tabla X).
- Además del retroceso del frente de los glaciares, se evidencia también un proceso de fragmentación de los glaciares más extensos. Se produce un aumento en el número de glaciares de clases menores a expensas de los glaciares más grandes, aunque el área englazada global no sufre una drástica disminución. Los glaciares así generados van disminuyendo su superficie en el tiempo hasta desaparecer, por lo que su cantidad fluctúa sin una clara tendencia negativa o positiva.
- Si bien la tendencia a la reducción de la superficie cubierta de hielo es notoria, la longitud del período de análisis impide una evaluación que arroje mayor luz sobre los resultados obtenidos. En este sentido, estudios dendrocronológicos y análisis de fotografías aéreas de mediados del siglo XX constituirían un aporte sumamente importante para evaluar fluctuaciones en tiempos pasados.

Figura 11a: Variación del porcentaje superficial por Clase. (izquierda)

Figura 11b: Variación del número de glaciares por Clase. (derecha)

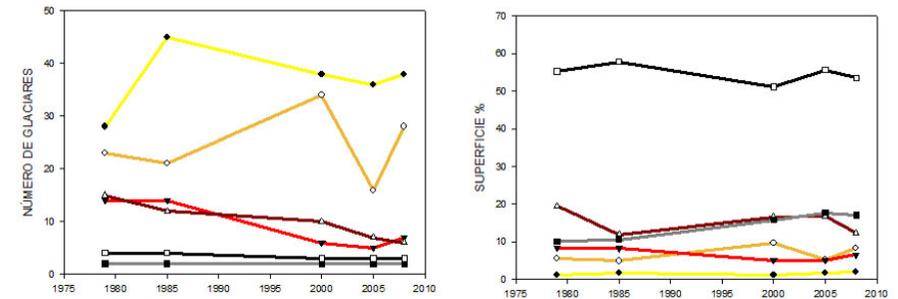


Tabla VII: Reducción de áreas para la zona de estudio completa por período. (*) Por cobertura nubosa no se pudieron obtener los datos correspondientes al año 2005 para el Cerro Hermoso, lo cual se tuvo en cuenta al momento de calcular la reducción absoluta del área englazada en los períodos 2000-2005 y 2005-2008., Sustrayendo la cantidad de área cubierta de hielo en los años 2000 y 2008 para este macizo se logra obtener las reducciones % anuales respectivas.

| Período | 1979-1985 | 1985-2000 | 2000-2005* | 2005-2008 |
|-------------------------------|-----------|-----------|------------|-----------|
| Reducción de Área (km2) | 8.74 | 15.01 | 8.38* | 3.24* |
| Reducción % | 7.19 | 13.37 | 9.41* | 4.42* |
| Reducción Anual % | 1.19 | 0.89 | 1.88 | 1.47 |
| Reducción de Área Anual (km2) | 1.45 | 0.99 | 1.67 | 1.14 |

Tabla VIII: Reducción areal (km2) y porcentual para el período 1979-2008 por macizo montañoso. *Por cobertura nubosa no se obtuvieron datos para el Macizo Cerro Hermoso en el año 2005.

| Macizo | Superficies (km²) | | | | | Reducción % |
|-------------------|-------------------|-------|-------|-------|-------|-------------|
| | 1979 | 1985 | 2000 | 2005 | 2008 | |
| Cerro W | 23.29 | 22.12 | 19.76 | 18.42 | 17.90 | 23.13 |
| Monte San Lorenzo | 65.39 | 61.67 | 54.24 | 49.32 | 47.56 | 27.25 |
| Cerro Penitentes | 20.01 | 18.18 | 15.04 | 12.91 | 11.95 | 40.27 |
| Cerro Hermoso | 12.89 | 10.87 | 8.22 | * | 6.57 | 49.41 |

Tabla IX: Superficie englazada en km² y reducción total

| | 1979 | 1985 | 2000 | 2005 | 2008 | Reducción % 1979-2008 |
|----------------------------------|--------|--------|-------|--------|-------|-----------------------|
| Superficie km² | 121.59 | 112.85 | 97.27 | 80.66* | 83.99 | 31.13 |

Tabla X: Reducción % del área englazada por subcuenca para el período de estudio.

| Subcuenca | Reducción % 1979-2008 | Subcuenca | Reducción % 1979-2008 |
|-------------------|-----------------------|---------------------|-----------------------|
| Sobral | 16.56 | San Lorenzo Sur | 39.39 |
| Sobral Oeste | 19.36 | Hermoso | 41.31 |
| San Lorenzo Norte | 26.01 | Hermoso Este | 44.04 |
| Penitentes | 31.98 | Penitentes Suroeste | 46.79 |
| San Lorenzo Este | 33.85 | Penitentes Este | 57.84 |
| Sobral Noreste | 35.96 | Hermoso Norte | 77.39 |
| Sobral Este | 38.36 | | |

REFERENCIAS

- [1] Lliboutry, L., (1998). Glaciers of Chile and Argentina. In: Williams, R.S., Ferrigno, J.G. (Eds.), Satellite Image Atlas of Glaciers of the World: South America. USGS Professional Paper 1386-I, Online version 1.02.
- [2] Metzeltin, S. (2004). El Macizo del San Lorenzo, Fondazione Giovanni Angelini.
- [3] Caldenius, C. (1932) Las Glaciaciones Cuaternarias en la Patagonia y Tierra del Fuego. Una Investigación Regional, Estratigráfica y Geocronológica. Una Comparación con la Escala Geocronológica Sueca. Ministerio de Agricultura de la Nación, Buenos Aires.
- [4] De Agostini, A. (1945) Ande patagónicos. Segunda Edición. Buenos Aires, 1945.
- [5] Mercer, J. (1968). Variations of some Patagonian Glaciers since the Late Glacial. American Journal of science, Vol 266, February 1968, P. 91-109.
- [6] Aravena, J. C. (2007) Reconstructing Climate Variability using Tree Rings and Glacier Fluctuations in the southern Chilean Andes. Faculty of Graduate Studies. The University of Western Ontario, London, Ontario, Canada.
- [7] Garcia Zamora et al. (2004) Glacier Fluctuations during the last Centuries in the Argentinean sector of Cerro San Lorenzo (47° S) Southren Patagonia. Second Symposium on Mass Balance of Andean Glaciers. Huaraz, Perú, 2004.
- [8] Irish, R. I. 2000. Landsat7 automatic cloud cover assessment: Algorithms for multispectral, hyperspectral, and ultraspectral imagery. Proceedings of SPIE, 4049, 348–355.
- [9] Paul, F. (2003) The new Swiss Glacier Inventory: Application of Remote Sensing and GIS. Dissertation zur Erlangung der naturwissenschaftlichen Doktorwürde. Universität Zürich.

Formas de Onda en Señales de Emisión Acústica con Modelo Sísmico

RESUMEN

Las señales de EA son complejas debido a la gran variedad de los procesos físicos involucrados a lo que se agregan señales de ruido ya sea ambiente o instrumental. En este trabajo se propone simular la señal de EA detectada, a partir de un modelo de fractura cuya base teórica proviene de la geofísica. A partir del espectro del campo de desplazamiento del medio material en un punto lejano del mismo se determina el evento de emisión acústica a la salida del sensor piezoeléctrico. Para dar cuenta de la influencia del detector con la señal se realiza la convolución en el dominio de tiempo de la señal producida por la fractura y la respuesta del sensor a un impulso. El sensor piezoeléctrico es modelado por un sistema tipo filtro pasabanda y sus parámetros son ajustados con la respuesta en frecuencia de un sensor real. La señal a la salida del sensor representa adecuadamente la tendencia de un evento de EA real. El tiempo de subida así como la duración de la señal de salida quedan determinados por parámetros de la fuente de fractura. Se discute la validez de la simulación de la señal obtenida comparando con resultados experimentales.

INTRODUCCIÓN

La Emisión Acústica (EA) es el fenómeno por el cual se libera energía en forma de ondas elásticas en el interior de un material sometido a algún tipo de sollicitación externa. Las fuentes de EA tienen su origen en el cambio rápido del campo de tensiones dentro del material y están relacionadas con procesos de deformación, crecimiento de fisuras, movimiento de dislocaciones, rotura de inclusiones, etc. [1]. Las ondas elásticas de EA que se propagan dentro del material llegan a su superficie y son detectadas por sensores

D.A. Filipussi (1,2)

R. Piotrkowski (2,3)

J.E. Ruzzante (1,2,4)

1 Comisión Nacional de Energía Atómica - Proyecto ICES - Grupo Ondas Elásticas, Buenos Aires, Argentina

2 Universidad Nacional de San Martín - Escuela de Ciencia y Tecnología, Buenos Aires, Argentina

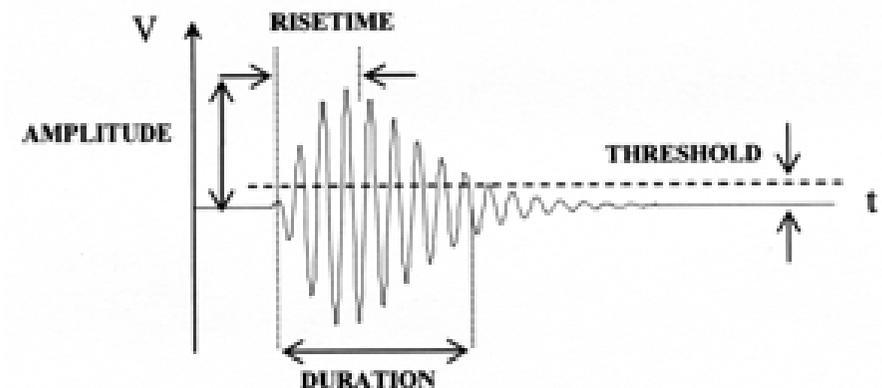
3 Universidad de Buenos Aires - Facultad de Ingeniería - Dpto. de Matemáticas, Buenos Aires, Argentina

4 Universidad Tecnológica Nacional - Facultad Regional Delta, Buenos Aires, Argentina

e-mail: filipuss@cnea.gov.ar

de cristal piezoeléctrico que convierten la vibración mecánica en señal eléctrica para su posterior procesamiento y análisis. La señal de EA es descrita en forma elemental por eventos o bursts y pueden ser estudiados por medio de sus parámetros: Amplitud, Duración y Tiempo de subida (Risetime). Para definir la duración y el tiempo de subida se debe fijar previamente un umbral de tensión, siendo la duración el tiempo que transcurre entre la primera y la última vez que la señal sobrepasa el umbral. La Figura 1 muestra un esquema de un evento de EA.

Figura 1. Evento de emisión acústica y sus parámetros fundamentales.



Las señales de EA son complejas debido a la gran variedad de los procesos físicos involucrados a lo que se agregan señales de ruido ya sea ambiente o instrumental.

La EA opera sobre distintas escalas espaciales y temporales abarcando desde la ruptura de ligaduras atómicas a fallas sísmicas. Por ello la información sísmica y la EA son complementarias tanto en sus aplicaciones como en su base teórica [2] [3].

En este trabajo se propone simular la señal de EA detectada, es decir los eventos de EA a partir de un modelo de fractura cuya base teórica proviene de la sísmica [4] [5]. El estudio del mecanismo de una fuente sísmica comprende: la teoría de los modelos cinemáticos (tanto puntuales como extensos); la teoría de la dinámica de la fractura (relaciona los desplazamientos sobre el plano de falla con las condiciones de esfuerzos, la resistencia del material y la propagación de la falla). Estos modelos tienen como fin determinar el campo de desplazamiento producido por la falla. Se puede determinar la naturaleza de un foco comparando estos desplazamientos calculados con los observados [6] [7]. En este trabajo se adapta este análisis para describir una fractura en un material metálico considerando un modelo cinemático.

La fractura del material es fuente de EA considerada como un foco extenso de forma rectangular. La fuente de fractura es modelada por una representación integral del campo de desplazamiento para un medio elástico, homogéneo, isótropo e infinito.

Nuestro trabajo está en la línea de los trabajos de Fang, en particular el que figura en la referencia [8]. Este obtiene una expresión analítica que relaciona la señal de EA de campo lejano con la propagación de una fractura plana finita originada por tensiones residuales en una soldadura. Al tratar con un medio finito debe tener en cuenta necesariamente las reflexiones de las ondas elásticas. Fang estudia solamente la señal que llega al detector. Por otra parte, el estudio del sistema de detección fue realizado por otros autores [9] [10], pero en estos trabajos la emisión fue tratada en forma simplificada. En nuestro trabajo consideramos un medio semi-infinito con el detector colocado en la superficie. Uno de nuestros objetivos es introducir el estudio del efecto del sistema de detección y cómo los parámetros de la fuente de fractura afectan a la señal detectada. Buscamos aportar un estudio detallado de la emisión, propagación y detección de las ondas mecánicas utilizando un modelo de campo lejano en un medio semi infinito.

NOMENCLATURA

| | |
|----------------------|---|
| A, Σ | = área de la fractura |
| c | = velocidad de propagación de onda |
| c_{ijpq} | = constantes elásticas del material |
| D | = ancho de la fractura |
| $G(x, t, \xi, \tau)$ | = función de Green |
| $G_{np,q}$ | = derivada de la función de Green respecto de q |
| $h(t)$ | = respuesta al impulso del sensor |
| $H(t)$ | = función de Heaviside |
| \hat{n} | = versor normal al plano de fractura |
| L | = largo de la fractura |
| $p_a(t)$ | = función pulso unitario de ancho |
| r | = distancia entre puntos fuente y campo |
| r_0 | = distancia al origen del punto campo |
| $s(t)$ | = señal salida del detector |
| t, τ | = variable tiempo |
| T | = duración de la propagación de la fractura |
| u | = campo de desplazamiento |
| $u(t)$ | = señal que llega al sensor |
| Δu | = discontinuidad del desplazamiento |
| v | = velocidad de propagación de la fractura |
| x | = posición del detector (punto campo) |
| α | = velocidad de onda longitudinal |
| β | = velocidad de onda transversal |
| $\delta(t)$ | = función Delta de Dirac |
| δ_{ij} | = Delta de Kronecker |
| $\phi(t)$ | = función temporal de la fuente de fractura |
| $\hat{\gamma}$ | = versor en la dirección del vector |
| η | = coeficiente de fragilidad |
| λ, μ | = constantes elásticas de Lamé |
| θ | = ángulo de detección: $\cos \theta = \hat{\xi} \cdot \hat{\gamma}$ |
| ρ | = densidad del medio material |
| τ_0 | = parámetro de tiempo de subida |
| \hat{v} | = versor paralelo a la discontinuidad de |
| ω | = variable frecuencia |
| ω_0 | = frecuencia de resonancia del sensor |
| ξ | = posición de la fractura (punto fuente) |
| $\Omega(x, t)$ | = forma funcional del campo de desplazamiento |
| * | = operador de convolución |

MÉTODOS

Propagación de Onda y Modelo de Fractura

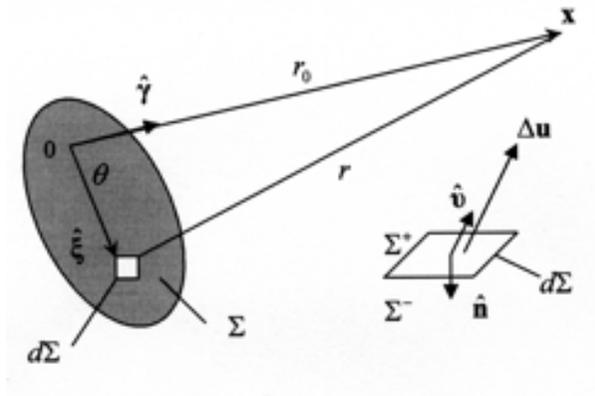
El campo de desplazamiento es formulado en términos de la función de Green que tiene en cuenta la propagación en el medio material de la onda elástica desde la fuente (punto fuente) al punto de observación (punto campo), ver Figura 2. Se calculan los desplazamientos elásticos como se muestra en la Ecuación (1).

$$u_n(\mathbf{x}, t) = \int_{-\infty}^{\infty} d\tau \iint_{\Sigma} \Delta u_i(\xi, \tau) c_{ijpq}(\xi) n_j \frac{\partial}{\partial \xi_q} G_{pn}(\mathbf{x}, t - \tau, \xi, 0) d\Sigma =$$

$$\int_{\Sigma} n_j c_{ijpq} \Delta u_i * G_{np,q} d\Sigma$$

donde $\Delta \mathbf{u}(\xi, \tau) = \mathbf{u}(\xi, \tau)|_{\Sigma^+} - \mathbf{u}(\xi, \tau)|_{\Sigma^-}$ es la discontinuidad del campo de desplazamiento sobre el plano de fractura (y $(\Sigma^+$ y Σ^- indican las caras adyacentes al plano de fractura).

Figura 2. Esquema del plano de fractura con la posición de la fuente de emisión acústica y la posición del punto \mathbf{x} de observación (sensor).



Resolviendo la Ecuación (2) de la dinámica de los medios elásticos para una fuerza en volumen impulsiva se obtiene la solución de la función de Green en la Ecuación (3).

$$\frac{\partial}{\partial x_j} (c_{ijpq} \frac{\partial G_{pn}}{\partial x_q}) + \delta(\mathbf{x} - \xi) \delta(t - \tau) \delta_{in} = \rho \frac{\partial^2 G_{in}}{\partial t^2}$$

$$G_{ip}(\mathbf{x}, t; \xi, \tau) = \frac{1}{4\pi\rho} (3\gamma_i\gamma_p - \delta_{ip}) \frac{1}{r^3} \int_{r/\alpha}^{r/\beta} t' \delta(t - \tau - \frac{r}{\alpha}) dt' + \frac{1}{4\pi\rho\alpha^2} \times$$

$$\gamma_i\gamma_p \frac{1}{r} \delta(t - \tau - \frac{r}{\alpha}) - \frac{1}{4\pi\rho\beta^2} (\gamma_i\gamma_p - \delta_{ip}) \frac{1}{r} \delta(t - \tau - \frac{r}{\beta})$$

donde $\alpha = \sqrt{(\lambda+2\mu)/\rho}$ y $\beta = \sqrt{\mu/\rho}$ son respectivamente las velocidades de onda longitudinal (onda P) y onda transversal (onda S) que caracterizan las ondas radiadas por una fractura. La variable $r = |\mathbf{x} - \xi|$ es la distancia del punto fuente ξ al punto campo \mathbf{x} de observación, y $\gamma_i = x_i/r$.

Reemplazando la Ecuación (3) en la Ecuación (1) se obtiene la Ecuación (4) para el campo de desplazamiento observado a campo lejano para una fractura en un medio lineal, homogéneo e isótropo.

$$u_i(\mathbf{x}, t) = \frac{\gamma_i}{4\pi\rho\alpha^3 r} c_{jkpq} \gamma_p \gamma_q v_k n_j \iint_{\Sigma} \Delta \dot{u}(\xi, t - \frac{r}{\alpha}) d\Sigma + \frac{\delta_{ip} - \gamma_i \gamma_p}{4\pi\rho\beta^3 r} \times$$

$$c_{jkpq} \gamma_q v_k n_j \iint_{\Sigma} \Delta \dot{u}(\xi, t - \frac{r}{\beta}) d\Sigma$$

Se efectuó la aproximación a campo lejano cuando se desprecia el primer término de la Ecuación (3) pues el factor $1/r^3$ tiende más rápidamente a cero que el factor $1/r$ cuando \mathbf{r} tiende a infinito.

Se observa que en la Ecuación (4) la dependencia temporal es determinada por la forma integral siguiente

$$\Omega(\mathbf{x}, t) = \iint_{\Sigma} \Delta \dot{u}(\xi, t - \frac{r}{c}) d\Sigma = \iint_{\Sigma} \Delta \dot{u}(\xi, t - \frac{r_0 - (\xi \cdot \gamma)}{c}) d\Sigma$$

Para un modelo de fractura rectangular unidireccional y una onda transversal, que es la que interesa en EA, se propone la Ecuación (6) para la discontinuidad del campo de desplazamiento sobre el plano de fractura.

$$\Omega(\mathbf{x}, t) = D \int_0^L \dot{\phi} \left(t - \frac{r_0}{c} - \xi \left(\frac{1}{v} - \frac{\cos \theta}{c} \right) \right) d\xi$$

La Ecuación (7) es la función temporal de la discontinuidad de la fuente modelada por un crecimiento exponencial.

$$\phi(t) = U_0 (1 - e^{-t/T}) H(t)$$

El espectro de Fourier de la señal que llega al detector se obtiene haciendo la transformada de Fourier de la Ecuación (6) y está dado por la Ecuación (8).

$$\hat{\Omega}(\omega) = \frac{2U_0 A \operatorname{sen}(\tau_0 \omega / 2)}{\omega \tau_0 T \left(\frac{1}{T} + j\omega \right)} e^{-j\omega \left(\frac{r_0}{c} + \frac{\tau_0}{2} \right)}$$

donde $A=DL$ es el área de la fractura, τ_0 el parámetro que da cuenta del tiempo de subida de la señal es $\tau_0 = L(1 - \eta \cos \theta) / v$ y la velocidad de propagación de la fractura $v = \eta c$, coplanar al plano de fractura y paralela al largo L . El valor de η para un material frágil es cerca de 0.8 y para un material dúctil cerca de 0.2.

La señal $u(t)$ que llega al sensor, anti transformada de $\hat{\Omega}(\omega)$, resulta de la convolución de las dos funciones siguientes

$$u(t) = \frac{\mu U_0 A}{4\pi \rho c^3 \tau_0 T r} p_{\tau_0/2} \left(t - \left(\frac{r_0}{c} + \frac{\tau_0}{2} \right) \right) * e^{-t/T} H(t)$$

MODELO DEL SENSOR

En la práctica de EA es usual la utilización de sensores de banda ancha en frecuencia pues se quiere explorar un rango amplio del espectro para el posterior análisis de una señal de EA. En consecuencia se modeló el sensor de la señal proveniente de la fractura como un filtro pasabanda. El diseño más elemental para este propósito consiste en un circuito formado por una resistencia eléctrica R en serie con un paralelo de un capacitor C y un inductor L . En este caso la respuesta en frecuencia del filtro es dada por el espectro en amplitud

$$\left| \hat{h}(\omega) \right| = \frac{\omega L}{\sqrt{(R - \omega^2 RLC)^2 - \omega^2 L^2}}$$

el cual presenta una frecuencia de resonancia dada por $\omega_0 = 1/\sqrt{LC}$.

Se ajustaron los parámetros R , L y C de forma tal de simular a un sensor piezoeléctrico real. La respuesta al impulso del modelo de sensor se obtiene por la antitransformada de su respuesta en frecuencia

$$h(t) = 2p e^{-pt} \left(\cos qt - \frac{p}{q} \operatorname{sen} qt \right) H(t)$$

donde $p = 1/2RC$ y $q = \sqrt{4R^2LC - L^2} / 2LRC$.

Simulación del Evento de Emisión Acústica

Los modelos descritos anteriormente permiten predecir la señal que se obtiene a la salida del sensor. Esta señal es una simulación de un evento de EA cuya escala temporal corresponde a la observada experimentalmente. No ocurre lo mismo con su escala en amplitud. No obtuvimos directamente el campo de desplazamiento sino una magnitud proporcional al mismo. Existe una cadena de amplificaciones que no conocemos detalladamente que representa la ganancia del equipo de EA.

La señal de salida del sensor $s(t)$ se determina por la convolución en el dominio de tiempo de la señal de entrada al sensor $u(t)$ y la respuesta al impulso $h(t)$ del mismo: $s(t) = u(t) * h(t)$.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los valores de las constantes que se han adoptado para la simulación del evento de EA fueron: velocidad de propagación del sonido en el material $c = 3000$ m/s, velocidad de propagación de la fractura $v = 900$ m/s ($n = 0.3$, fractura dúctil), longitud y ancho de la fractura $L = 1$ mm, $D = 0.05$ mm y distancia del sensor a la fuente de fractura $r = r_0 = 10$ cm (aproximación a campo lejano). El tiempo de subida de la discontinuidad de la fuente resultó $T = 1 \mu s$ y el parámetro de tiempo de subida de la señal que llega al sensor $\tau_0 = 0.35 \mu s$.

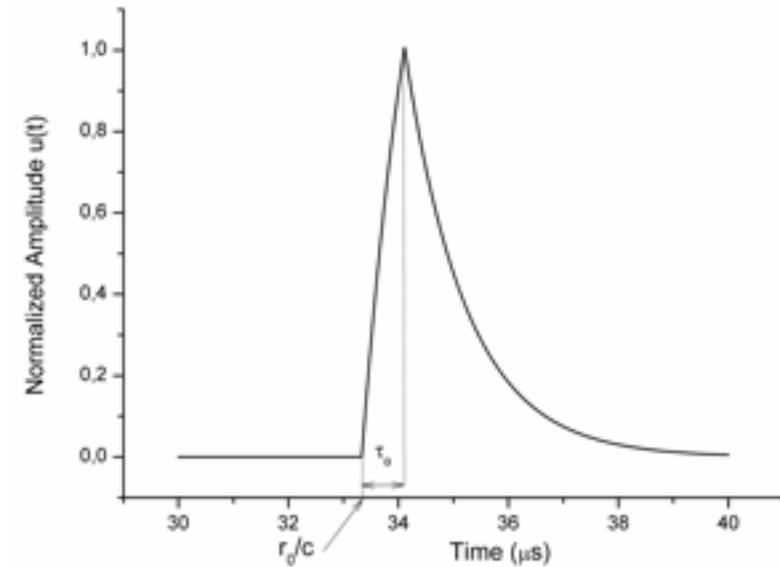
El resultado final está dado por la Ecuación (12) para la señal campo de desplazamiento que llega al sensor calculado con la Ecuación (9). En la Figura 3 se representa a la señal $u(t)$.

$$u(t) = \begin{cases} \frac{\mu U_0 A}{4\pi\rho c^3 \tau_0 r} \frac{1}{r} (1 - C_1 e^{-t/T}) & \text{si } \frac{r_0}{c} < t < \frac{r_0}{c} + \tau_0 \\ \frac{\mu U_0 A}{4\pi\rho c^3 \tau_0 r} \frac{1}{r} C_2 e^{-t/T} & \text{si } t > \frac{r_0}{c} + \tau_0 \end{cases}$$

donde $C_1 = e^{r_0/cT}$ y $C_2 = C_1(e^{\tau_0/T} - 1)$

La señal obtenida presenta a partir del instante que la onda llega al sensor, en un tiempo dado por r_0/c , un crecimiento hasta alcanzar un máximo en un intervalo de tiempo dado por τ_0 y luego decae exponencialmente a cero. La señal que llega al sensor, obtenida teóricamente en el presente trabajo mediante un modelo de falla sísmica, es más detallada que los pulsos rectangulares propuestos en otros trabajos (Ono K., 1978; López Pu-marega M.I., 1999).

Figura 3. Señal de emisión acústica a la entrada del sensor producida por la fuente de fractura del material.



Los valores de los parámetros del filtro obtenido para una banda de frecuencia del sensor de 100 kHz a 800 kHz resultaron ser: $R = 0.4 \Omega$, $L = 0.1 \mu H$ y $C = 1 \mu F$. La respuesta del sensor real se obtuvo a partir de la curva de calibración provista por el fabricante (Sensor PAC, Modelo: WD, Serie: AE65, Metodología de calibración basada en ASTM E976). El ajuste de la respuesta del sensor del modelo con respecto a un sensor real se muestra en la Figura 4. El parámetro del modelo que se varió para hacer el ajuste fue la frecuencia de resonancia del modelo. El resultado de la señal de salida del sensor está dado en la Ecuación (13).

$$s(t) = \begin{cases} \frac{\mu U_0 A}{4\pi\rho c^3 \tau_0 r} \frac{1}{r} \left\{ A_1 e^{-t/T} - B_1 e^{-p/T} \cos\left[q\left(t - \frac{r_0}{c}\right) - \varphi_1\right] \right\} & \text{si } \frac{r_0}{c} < t < \frac{r_0}{c} + \tau_0 \\ \frac{\mu U_0 A}{4\pi\rho c^3 \tau_0 r} \frac{1}{r} \left\{ A_2 e^{-t/T} - B_2 e^{-p/T} \cos\left[q\left(t - \frac{r_0}{c}\right) - \varphi_2\right] \right\} & \text{si } t > \frac{r_0}{c} + \tau_0 \end{cases}$$

donde

$$A_1 = \frac{T e^{\tau_0/cT}}{q^2 T^2 + (pT - 1)^2} \quad B_1 = \frac{e^{p\tau_0/c}}{q \sqrt{q^2 T^2 + (pT - 1)^2}} \quad \varphi_1 = \arctg\left(\frac{pT - 1}{qT}\right)$$

$$A_2 = \frac{T(1 - e^{2\tau_0/T}) e^{\tau_0/cT}}{q^2 T^2 + (pT - 1)^2} \quad B_2 = \frac{\pm e^{p\tau_0/c} \sqrt{a^2 + b^2}}{q(q^2 T^2 + (pT - 1)^2)} \quad \varphi_2 = \arctg\left(\frac{b}{a}\right)$$

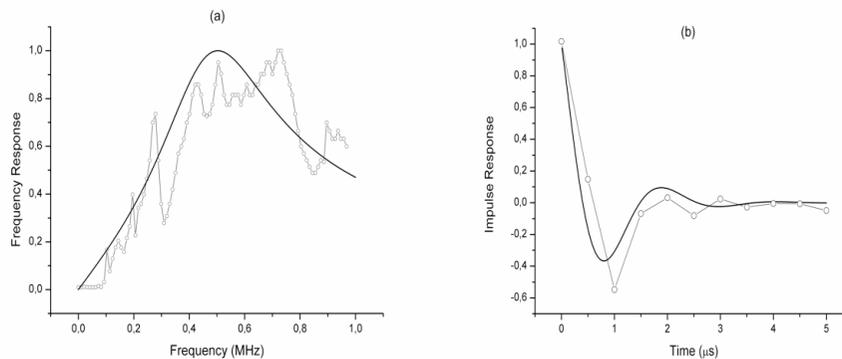
y donde

$$a = e^{\tau_0 p} (qT \cos(\tau_0 q) - (pT - 1) \text{sen}(\tau_0 q)) - qT$$

$$b = e^{\tau_0 p} (qT \text{sen}(\tau_0 q) + (pT - 1) \cos(\tau_0 q)) - pT + 1$$

En la Figura 5 se observa que la señal de salida del sensor se comporta como una oscilación que se amortigua rápidamente en el tiempo. La señal crece hasta alcanzar un valor máximo que se corresponde aproximadamente con el parámetro τ_0 y caracteriza el tiempo de subida del evento, en esta simulación este tiempo es aproximadamente de 0.5us. La duración del evento en este caso es del orden de diez veces el tiempo de subida es decir aproximadamente 5us.

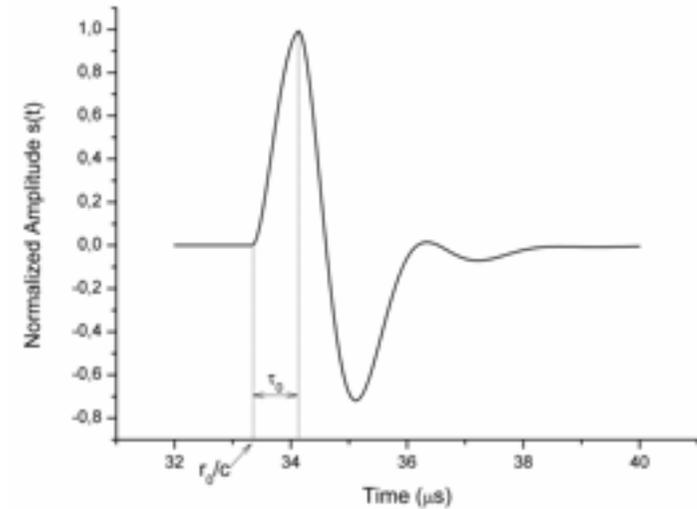
Figura 4. Ajuste de un sensor real (trazo fino) con un sensor modelado (trazo grueso), (a) Respuesta en frecuencia del sensor, (b) Respuesta al impulso del sensor.



En trabajos anteriores [11] [12] se pudo localizar en el evento mediante la elección adecuada del valor del umbral una componente determinística, y una componente asociada a los procesos estocásticos que rigen gran parte del proceso de EA.

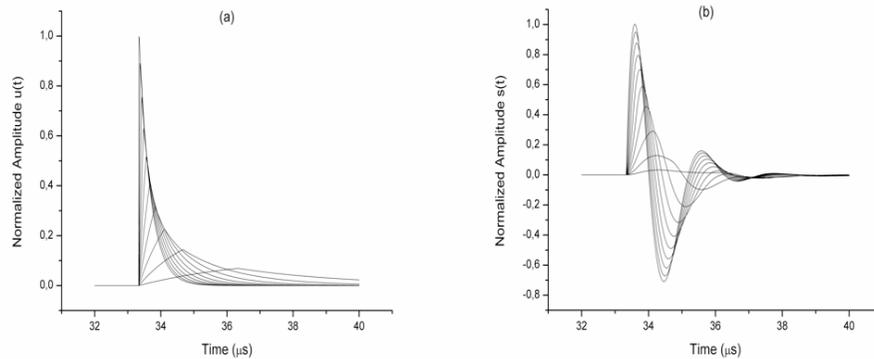
El evento presenta alrededor de su máximo una zona de comportamiento determinístico modelada por una ecuación diferencial de cuarto orden. Se obtuvo en dichos trabajos a partir de los resultados experimentales una distribución de duraciones para la componente determinística con una mediana de 8 us, valor que se corresponde adecuadamente con la duración obtenida en la simulación del evento en este trabajo. En el presente trabajo se estudió la componente determinística de la señal.

Figura 5. Señal de emisión acústica a la salida del sensor producida por la fuente de fractura del material.



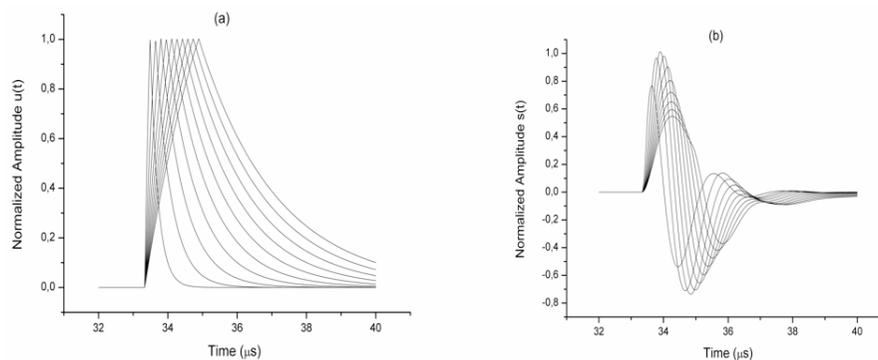
El modelo de fractura, de propagación de onda y el modelo de sensor predicen la señal que entra y sale del mismo al variar ciertos parámetros de la fuente y del detector. En la Figura 6 se varió la velocidad de propagación de fractura del material. Dicha velocidad está directamente relacionada con la fragilidad del material. Se observa para $u(t)$ un aumento de amplitud y disminución de la duración del evento cuanto más frágil es el material. Para $s(t)$ la amplitud y la duración del evento sigue el mismo comportamiento de la señal de entrada. Esta respuesta del sistema a un aumento de la fragilidad del material se corresponde con la señal de salida calculada ya que se esperaría que la señal tienda a una señal impulsiva de corta duración y gran amplitud cuanto mayor sea la fragilidad del material.

Figura 6. Señal de emisión acústica al cambiar la fragilidad del material, (a) Señal a la entrada del sensor, (b) Señal a la salida del sensor.



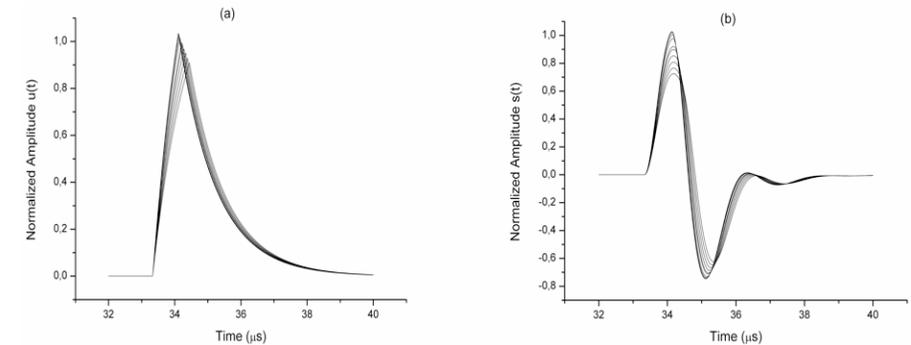
En la Figura 7 al variar la forma de la fractura (relación largo-ancho) se observa para $u(t)$ una amplitud constante y un aumento en la duración cuando aumenta la longitud en relación al ancho de la fractura. Para $s(t)$ la amplitud crece y luego decrece. Estas diferencias en el cambio de amplitud se deberían a la acción del sistema de detección. El cambio de la forma de la fractura no afecta la amplitud de la señal observada pues ésta no se relaciona con la geometría del problema sino con las características del material, si en cambio afecta a la duración de la señal pues cambia la cinemática del problema.

Figura 7. Señal de emisión acústica al cambiar la longitud de la fractura, (a) Señal a la entrada del sensor, (b) Señal a la salida del sensor.



En la Figura 8 se varió el ángulo de detección del detector. Se observa que al aumentar el ángulo de detección de 0° a 90° la amplitud del evento disminuye tanto a la entrada como a la salida del detector, y el tiempo de subida aumenta para la señal que llega al sensor, sin embargo a la salida del detector es aproximadamente constante. Esta disminución de la amplitud se explica por el cambio de direccionalidad de la onda elástica que viaja hacia el punto de observación, ésta se ve más atenuada al alejarse de la dirección principal de avance de la fractura.

Figura 8. Señal de emisión acústica al variar el ángulo de detección, (a) Señal a la entrada del sensor, (b) Señal a la salida del sensor.



Al variar la distancia del detector a la fuente de fractura no se observó cambio en la forma de la señal. La distancia si afecta al tiempo de llegada del evento y también a la amplitud, disminuyendo esta última a mayor distancia entre fuente y detector debido a la atenuación de la onda elástica.

En las Figuras 9 y 10 se modificó la respuesta del sensor variando el ancho de banda y la frecuencia de resonancia respectivamente. El efecto en la señal de salida se observa en las Figuras 11 y 12.

Cuanto menor es el ancho de banda de la respuesta en frecuencia del sensor mayor es la amplitud de la señal de salida y se observa el mismo comportamiento en la respuesta impulsiva del sensor. Cuando mayor es la frecuencia de resonancia del sensor la señal de salida aumenta la duración y disminuye la amplitud, el mismo comportamiento se observa en la respuesta impulsiva del sensor.

Figura 9. Respuesta del sensor al variar el ancho de banda del mismo, (a) Respuesta en frecuencia, (b) Respuesta al impulso.

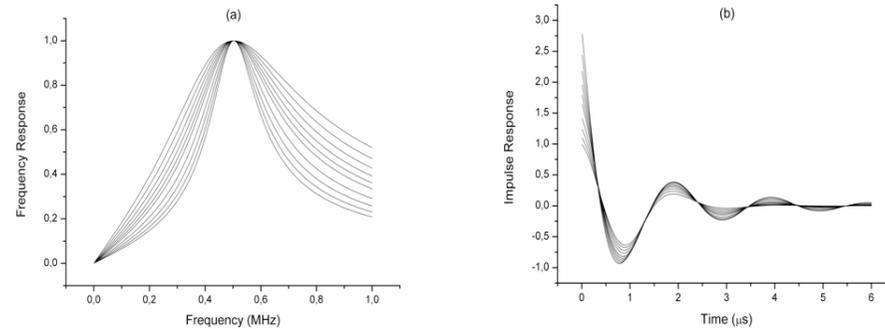


Figura 10. Respuesta del sensor al variar la frecuencia de resonancia del mismo, (a) Respuesta en frecuencia, (b) Respuesta al impulso.

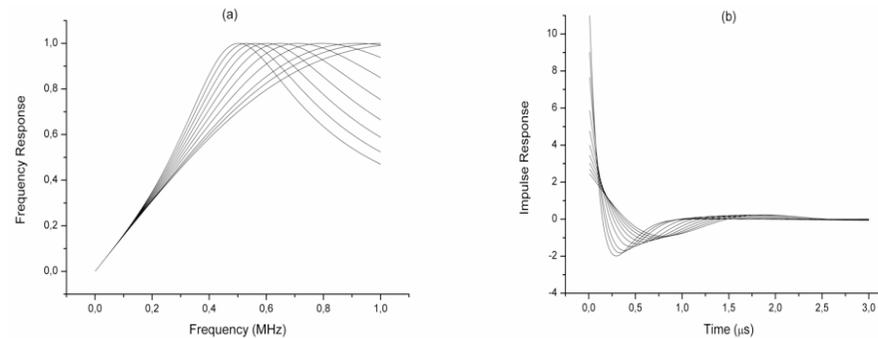
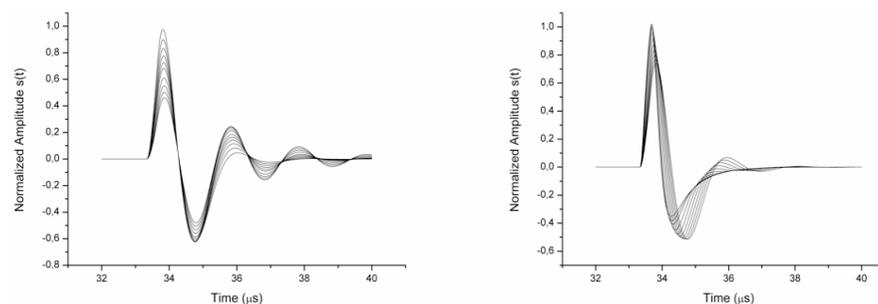


Figura 11. Señal de emisión acústica a la salida del sensor al variar el ancho de banda en frecuencia del sensor. Figura 12. Señal de emisión acústica a la salida del sensor al variar la frecuencia de resonancia del sensor



CONCLUSIONES

La señal que llega al sensor determinada por el modelo de falla sísmica en este trabajo es más detallada y realista que la propuesta de pulsos rectangulares en trabajos anteriores de otros autores. Hay un ajuste adecuado del modelo del sensor propuesto con un sensor real.

La señal a la salida del sensor representa adecuadamente la tendencia de un evento de EA real. El tiempo de subida así como la duración de la señal de salida quedan determinados por parámetros de la fuente de fractura. El valor obtenido para la duración con el presente modelo, 5 μs , se ajusta adecuadamente a resultados anteriores obtenidos tanto en determinaciones experimentales como modelados, con la ventaja que el presente modelo incluye una representación física de la fractura.

La simulación del evento de EA predice la forma de la señal a la salida del detector variando la fragilidad del material, la forma de la fractura en la fuente y el ángulo de detección. También predice la forma de la señal a la salida del detector modificando la respuesta del sensor. Estos resultados deberán ser puestos a prueba experimental en futuros trabajos.

REFERENCIAS

- [1] Pollock A., Acoustic Emission Inspection, Methods of Non-Destructive Evaluation (1989), 4, 278-281.
- [2] Paparo G., Gregori G.P., Coppa U., De Ritis R., Taloni A., "Acoustic Emisión as a diagnostic tool in geophysics" (2002), Annals of Geophysics, Vol 45, 2, 401-416.
- [3] Ruzzante J.E., López Pumarega M.I., Gregori G., Paparo G., Piotrkowski R., Posco-lieri M., Zanini A., "Acoustic emisión, tides, and degassing on the Peteroa volcano" (2008), Argentina, Acoustic emission, Vol.1: Microseismic, CNEA. ISBN: 978-987-05-4116-5
- [4] Aki K., Richards P.G, Quantitative Seismology, Theory and Methods (1980), W. H. Freeman and Company, San Francisco, California.
- [5] Buform E., Udías A., Madaragia R., Mecanismo Focal de los Terremotos (1994), Ed. Complutense.
- [6] Kasahara K, Earthquake Mechanics (1981), Cambridge Univ. Press. Cambridge, UK.
- [7] Udías A., "Source Mechanism of Earthquakes" (1991), Advances in Geophysics, 33, 81-140.
- [8] Fang C.K., Kannatey-Asibu Jr. E., Barber J.R.: "Far-Field Initial Response of Acoustic Emission From Cracking in a Weldment" (1997), Journal of Manufacturing Science and Engineering Vol. 119, 281-289.
- [9] Ono K., Landy R. And Ouchi C., "On the Amplitude Distribution of Burst Emission Due to MnS Inclusions in HSLA Steels" (1978), Proc. The Fourth AE Symposium, High Pressure Institute of Japan, Tokyo, 4-33/4-45.
- [10] López Pumarega M.I., Piotrkowski R. and Ruzzante J.E., "Discussion of Log-Normal Distribution of Amplitude in Acoustic Emission Signals" (1999), Journal of Acoustic Emission Vol. 17,1-2, 61-66.
- [11] Filipussi D.A., Piotrkowski R. y Ruzzante J.E., "Modelización de la Relación Amplitud-Duración en Eventos de Emisión Acústica" (2005), RPIC 2005 XI Reunión de Trabajo en Procesamiento de la Información y Control, Córdoba, Argentina. ISBN: 950-665-340-2.
- [12] Filipussi D.A., Piotrkowski R. y Ruzzante J.E., "Zonas de comportamiento estocástico en eventos de emisión acústica" (2005), III Congreso Internacional de Matemática Aplicada a la Ingeniería y Enseñanza de la Matemática en Ingeniería, INMAT. Buenos Aires, Argentina.

Las investigaciones de la red museal Pangea La Red Pangea en el “Valle de los Titanos”: desde la modelación 3D al Atlas de los Dinosaurios online

RESUMEN

La Red de los Museos naturalísticos italianos Pangea, en colaboración con el Museo Patagónico de Ciencias Naturales de General Roca (Argentina), ha empezado en los meses de febrero y marzo del año 2010 una nueva campaña de excavación y de investigación en el “Valle de los Titanos” (El Cuy, Río Negro), durante la cual se continuaron las excavaciones paleontológicas en los sitios individuados en los años pasados, y se hicieron relieves planoalimétricos de detalle y test geofísicos en el primer subsuelo [1; 2]. Los autores quieren presentar el estado de los trabajos, los resultados obtenidos y los nuevos objetivos de Pangea.

INTRODUCCIÓN

PANGEA es una red museal que actúa para la promoción de la investigación, la salvaguarda del patrimonio y el desarrollo de nuevas tecnologías en el área científica y para la divulgación de los resultados de estudio. Nacida en el año 2005, la Red Museal PANGEA se califica como red institucional que trabaja en cooperación con otros entes y que pone en común los recursos humanos, técnicos, financieros y el patrimonio de ciencia y experiencia de los museos asociados, con el objetivo de crear relaciones estables y coordinadas.

Pertenecen a la Red Museal PANGEA:

- Museo di Storia Naturale e del Territorio dell'Università di Pisa
- Museo Geopaleontologico del Castello di Lerici (SP)
- Museo Civico di Rovereto (TN)
- Museo dei Fossili e delle Ambre di S. Valentino in Abruzzo Citeriore (PE)
- Museo Regionale di Scienze Naturali di Torino

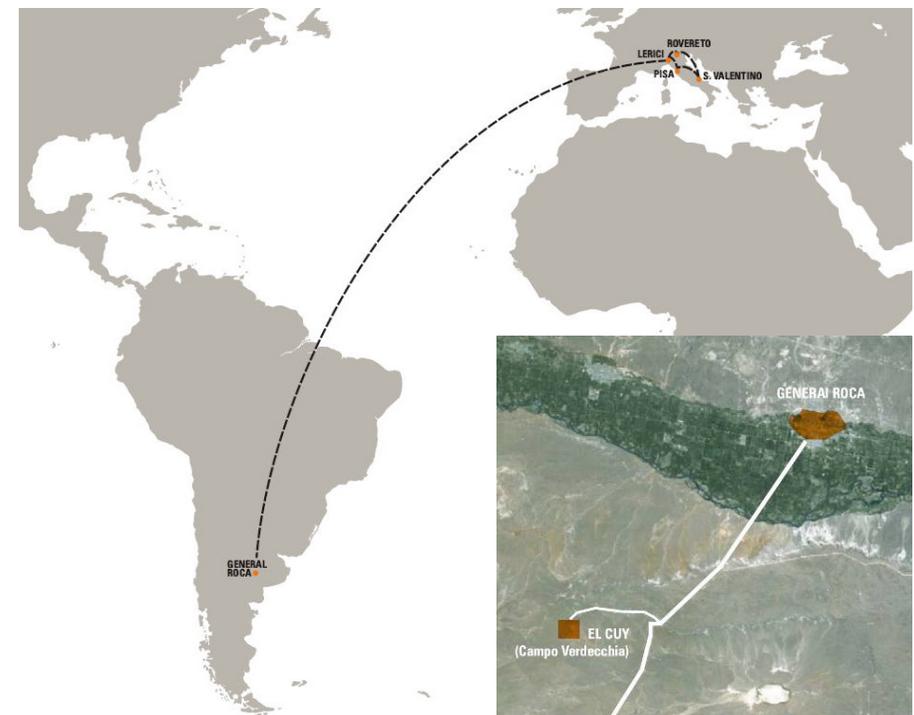
**Franco Finotti (1),
Walter Landini (2),
Fabiana Zandonai (1),
Eleonora Zen (1).**

1 Museo Cívico de Rovereto (TN)

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

finottifranco@museocivico.rovereto.tn.it

Figura 1. La localización de los museos de Pangea y del área de estudio en Argentina, con base geográfica simplificada (gráfica Headline, Rovereto TN). En el recuadro, un extracto desde Google Earth que evidencia el sitio de indagación en el Departamento de El Cuy.



Desde el nacimiento de la red PANGEA hasta hoy (2011) se hicieron tres breves campañas de exploración en Patagonia (2004, 2005, 2006) y dos campañas de excavación sistemática (2008 y 2010), que han dado buenos resultados desde el punto de vista científico y didáctico y han permitido firmar protocolos con las Instituciones Gubernativas (Provincia de Río Negro) y con importantes Instituciones museales (MACN). Las campañas se realizaron en Patagonia (Fig. 1), en un área del Departamento de El Cuy (provincia de Río Negro, Argentina), que se nombró luego "Valle de los Titanos" por su riqueza paleontológica y "Pompei de los Dinosaurios" por la concentración de huesos de animales muertos en ocasión de una catástrofe.

RECONSTRUCCIÓN DEL ÁREA DE INVESTIGACIÓN

Localización

El "Valle de los Titanos" ocupa hoy un anfiteatro natural (Fig. 2) modelado en la roca cretácica de la Formación Anacleto, caracterizada por una fuerte concentración fosilífera. En particular, en el sitio que Pangea está estudiando, se encuentran dos niveles fosilíferos continuos caracterizados por una fuerte concentración de huesos de Titanosaurio en yacimiento primario y en buen estado de conservación [2].

Preliminarmente los hallazgos se pueden atribuir al género *Laplatasaurus*, pero se están estudiando algunos elementos anatómicos nuevos respecto a los ejemplares hasta ahora descritos.

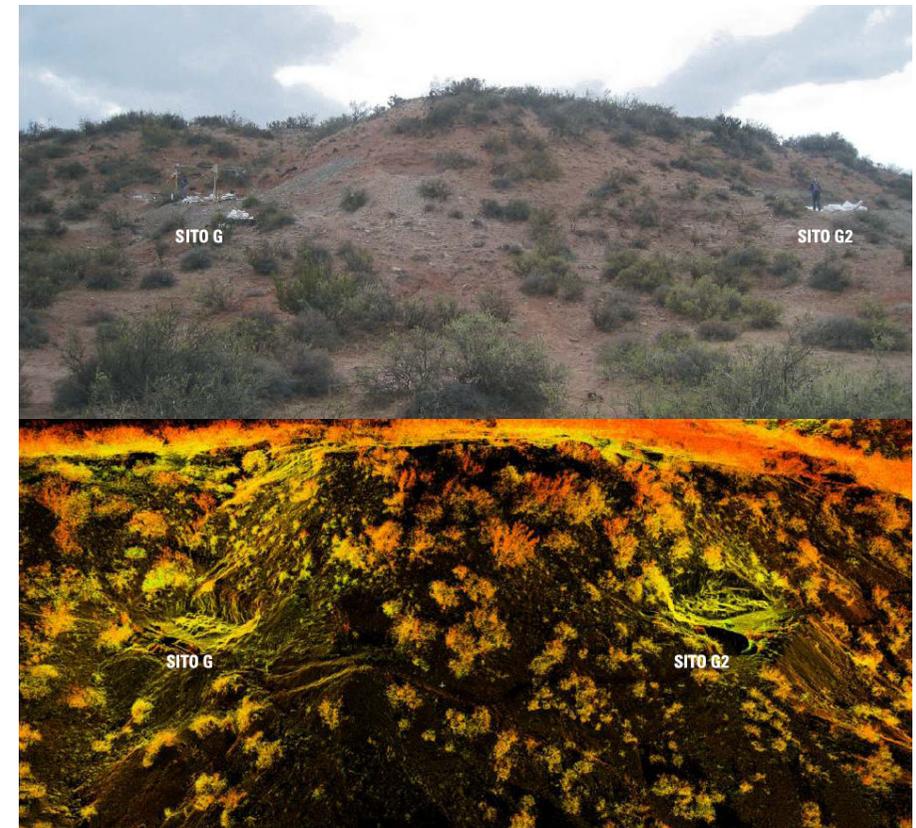
Relieve 3D

El área de estudio, morfológicamente articulada y sujeta a progresivo rejuvenecimiento de las formas, comprende un área de 300 m, por tanto es difícil hacer una investigación sistemática de detalle. En la campaña del 2010 se ha realizado - en colaboración con Sat Survey de Venecia - un relieve 3D con tecnología láser escáner (Fig. 3), integrado a un relieve topográfico clásico, porque faltan soportes cartográficos adecuados y para crear un mapa exacto del nivel fosilífero y poder localizar los sitios de las pasadas investigaciones.

Figura 2. Panorámica del anfiteatro natural objeto de estudio.



Figura 3. Arriba se ven dos de los sitios de excavación más interesantes entre los descubiertos en las campañas paleontológicas de El Cuy. Abajo, los mismos sitios relevados con tecnología Láser escáner: lo que se ve es la representación de la nube de puntos en escala colores métrica, de la que se obtiene el modelo digital del terreno.



A los tres sitios importantes por concentración, disposición y número de huesos, se han aplicado además técnicas de fotogrametría digital de detalle (Fig. 4), adquiriendo imágenes con cámara métrica (sistema Zscan, Menci).

Con este sistema, como con la tecnología láser escáner, se obtienen nubes de puntos a través de una cámara fotográfica digital de alta resolución calibrada atentamente y con óptica fija. El funcionamiento es el mismo de la stereoscopia. Por cada punto de vista del objeto se adquieren tres imágenes desde posiciones predefinidas; estas imágenes se elaboran luego a través de un software basado en un algoritmo innovador de análisis multifocal de la imagen, que devuelve la nube de puntos y el relativo modelo numérico. El modelo 3D final del objeto es el fruto de la unión con reconocimiento de puntos homólogos de las tomas parciales.

Figura 4. Fase de rodaje con técnica fotogramétrica digital del sitio G2, para fijar y reconstruir en detalle los caracteres litostratigráficos y el contenido paleontológico.

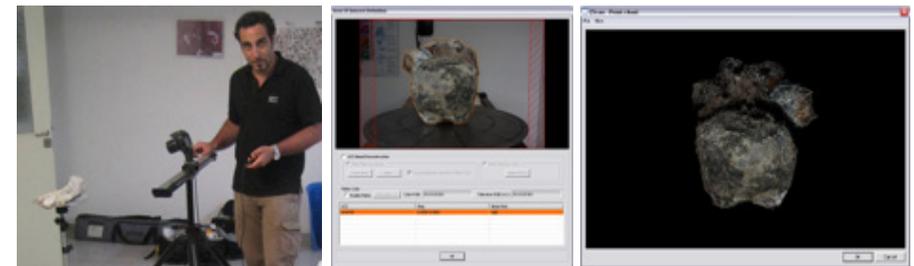


Los datos recogidos, procesados con software de nueva generación, permiten reproducir métricamente tanto la posición de los huesos y su colocación espacial como los hallazgos individuales, hasta reproducir un fiel modelo 3D global. Este enfoque integrado permite profundizar el estudio tafonómico (gracias a las informaciones sobre las relaciones mutuas entre los diferentes hallazgos) y paleoecológico de los sitios mismos, además de constituir una documentación detallada utilizable también para la divulgación científica.

Adquisición de modelos 3D de los hallazgos restaurados

Los huesos descubiertos durante las campañas del 2006 y 2008 hoy se encuentran en el Museo Patagónico de Ciencias Naturales de General Roca. Una parte ha sido restaurada por los paleontólogos argentinos en el taller dedicado en la Estación Científica argentina que Pangea ha puesto a punto dentro del museo mismo. Durante la campaña del 2010 se ha trabajado con el relieve in situ pero sobre todo con la documentación de los materiales precedentemente catalogados. Han sido seleccionados 21 hallazgos óseo restaurados y particularmente significativos; se ha hecho de cada uno el relieve 3D de alta resolución con la técnica de la fotogrametría (Fig. 5). Este método permite producir modelos numéricos con resolución de 10-20 micrón a partir de imágenes calibradas (Fig. 6). 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.

Figura 5. A la izquierda, un momento del relieve -con técnica Zscan- de uno de los hallazgos óseos restaurados descubiertos en el "Valle de los Titanos" y conservados en el Museo Patagónico de Ciencias Naturales de General Roca. Al centro un ejemplo del primer step de elaboración de las tres fotos, para llegar al modelo métrico parcial 3D (a la derecha).

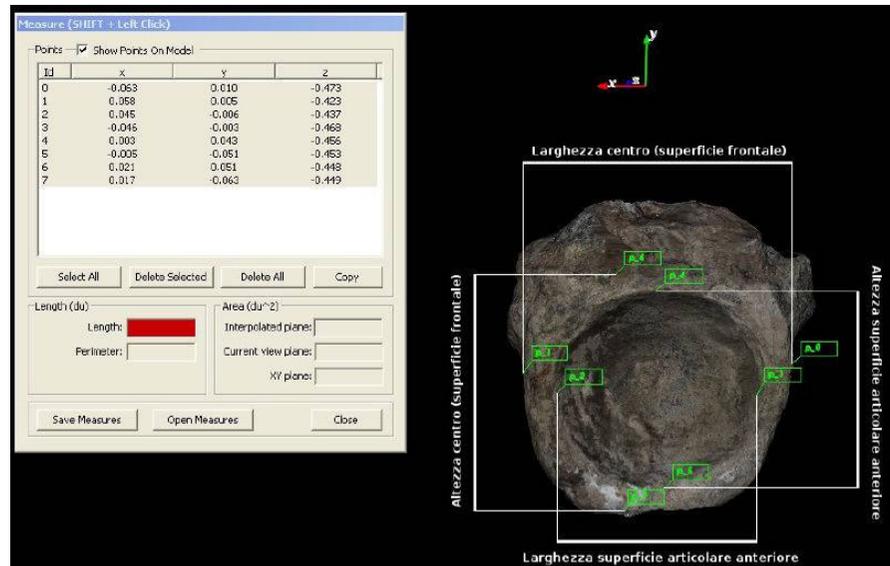


Han sido realizadas ya copias de algunos modelos virtuales 3D con una impresora tridimensional, y se ha comprobado que la resolución que se puede alcanzar es muy buena, por tanto los modelos se pueden reproducir con finalidades de estudio sistemático y didácticas.

Análisis sistemático

Han sido utilizados, en un primer análisis sistemática, los modelos digitales de cinco hallazgos: cuatro vienen del sitio L (vértebra caudal anterior, III metacarpal izquierdo, fíbula derecha, tibia derecha) y uno del sitio G (cúbito derecho) [1; 2].

Figura 6. Visualización del modelo 3D de una vértebra de dinosaurio (relevada durante la campaña 2010 en El Cuy) col software free ScanView Menci, que permite de manera simple de efectuar medidas de las vistas de interés y de hacer operaciones matemáticas con los datos recogidos [5].



Generalmente los hallazgos encontrados en el sitio L son muy compatibles con el género *Laplatasaurus*, en particular por las características de la vértebra caudal anterior, la relativa agilidad de los huesos de la extremidad posterior, la morfología de la epífisis proximal de la tibia y sobre todo la forma y estructura del III metacarpal izquierdo.

En lo que concierne el sitio G, el solo hallazgo hasta ahora examinado es un cúbito derecho, al que sin embargo le falta casi toda la parte proximal. Un análisis comparativo permite atribuir este hallazgo al género *Laplatasaurus*, en espera de examinar los otros huesos recuperados en el mismo sitio y ahora en restauración.

Experimentación geofísica

Acerca de la experimentación geofísica se han hecho pruebas con un nuevo instrumento geoelectrico multicanal de alta sensibilidad, *Electra*, desarrollado por Micromed (Treviso) junto con el Museo Cívico de Rovereto [2]. Se ha obrado en el dominio del tiempo y de la

frecuencia, en modalidad activa (IP; ρ) y pasiva (PS), y se ha constatado una buena fiabilidad del instrumento, una estabilidad y repetitividad de las medidas, también cuando se trabaja con niveles de energización mínima (Fig. 7).

Ante todo se ha detectado que, también en un ambiente extremo como el desierto, los parámetros estudiados (potenciales espontáneos PS, y polarización inducida IP) son discriminantes hacia las características petrográficas y sedimentológicas del subsuelo, por tanto también en la búsqueda de fósiles.

Figura 7. En la foto el área test para la geoelectrica, colocado abajo de las áreas de excavación. Delante, a la izquierda los esquemas de medidas, a la derecha una representación de los primeros resultados en resistividad aparente.



PROYECTOS Y PERSPECTIVAS FUTURAS

Nuevos campos de estudio

Hoy se dispone de muchos datos inherentes el "Valle de los Titanos". Algunos datos se están analizando por parte de expertos de geología, paleontología, estratigrafía, geofísica, etc. El área de estudio de hecho es tan amplia y articulada que sigue ofreciendo nuevas posibilidades de investigación y requiere un análisis integrado. También por esta razón se han utilizado imágenes desde satélite de alta resolución Skymed, disponibles gracias al ASI (Agencia Espacial Italiana) con quien el Museo Cívico de Rovereto tiene una convención.

Además, después de los buenos resultados obtenidos con análisis geoquímicas de muestras encontradas *in situ*, se está organizando una campaña de excavación para caracterizar geoquímicamente las diferentes unidades litostratigráficas (también fosilíferas) que componen la sección tipo del área de estudio. Algunas de las técnicas de investigación aplicadas por

primera vez en ámbito paleontológico a los niveles fosilíferos descubiertos por Pangea en el "Valle de los Titanos" han sido utilizadas con satisfacción en algunas excavaciones italianas (Fig. 8).

El sitio web de Pangea, las bases de datos y el Atlas de los dinosaurios online

Pangea quiere presentar también un nuevo proyecto muy importante que está desarrollando y que se basa en la importancia para la investigación científica de compartir toda la documentación sobre los dinosaurios, publicada e inédita, producida durante las campañas de excavación de Pangea.

Figura 8. Dos extractos del modelo virtual 3D del fósil de Sirenide descubiertos en el verano de 2010 en un campo de girasoles en Toscana, excavado por parte del grupo del prof. Giovanni Bianucci de la Universidad de Pisa y relevado con tecnología Zscan por el director del Museo Civico de Rovereto, dott. Franco Finotti.

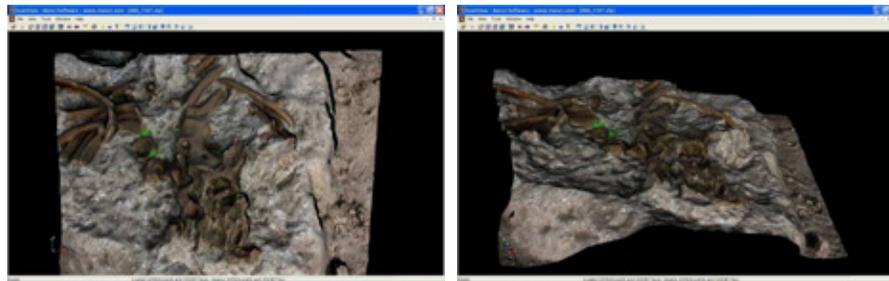


Figura 9. Home Page del sitio internet de Pangea, red de los museos naturalísticos italianos.



Con este proyecto se quiere disfrutar de las potencialidades del web, que no es solo un simple instrumento de consulta sino también un verdadero lugar de intercambio entre usuarios [4, 5, 6]. Por eso se ha creado un sitio web dedicado (Fig. 9) que contiene, además de las informaciones generales sobre Pangea y su actividad, un conjunto de datos estructurados sobre los hallazgos, el material bibliográfico y fotográfico de los dinosaurios, con el fin de ofrecer a los usuarios de la página web muchas informaciones. Estos datos, organizados en fichas, se publicarán en una página web libremente accesible, que es una verdadera colección multimedia que contiene textos en formato digital que se pueden descargar en formato PDF, documentos fotográficos o cartográficos accesibles a través de link presentes en la misma página (Figg. 10 y 11).

Figura 10. Ficha de la base de datos sobre los dinosaurios, publicada en el sitio web de Pangea, con conexiones a las bases de datos bibliográficas y fotográficas.



Es disponible por tanto una base de datos integrada, georeferenciada, disponible en plataforma Web Gis, que permite visualizar en un mapa los datos recogidos y descritos en las diferentes investigaciones. De esta manera se crea una visión completa de las áreas de difusión, de los sitios de hallazgo, de la relativa bibliografía científica y de los descubrimientos fósiles del género de dinosaurio que se está indagando.

Lo que se quiere realizar es un verdadero "Atlas de los Dinosaurios": se ha empezado ya una fase previa del proyecto que consiste en la recogida de toda la bibliografía existente

(relativa a los aspectos paleogeográficos, climáticos, ecológicos, de desarrollo y difusión de los dinosaurios - con particular atención a los Titanosaurios – y a los sitios de hallazgo y a los materiales descritos hasta este momento). Otra ocasión de intercambio y de difusión de los estudios de paleontología es representada por el archivo cinematográfico del Museo Cívico de Rovereto, recogido en años de investigación dedicada al interés, a la conservación y difusión de documentales de tema científico y arqueológico. Estos documentales se promueven y difunden también en la web-tv de la ciencia realizada por el Museo Cívico de Rovereto www.sperimentarea.tv, que cada semana se enriquece de entrevistas a expertos y editoriales (Fig. 12).

Figura 11. Fichas bibliográfica que contiene, además de simples informaciones como el título del artículo, la recopilación o la revista que lo contiene, el nombre de los autores y de los editores, el año y el lugar de publicación, también el resumen y, si disponible, el pdf del trabajo. A la ficha se asocian los link para llegar a las fichas fotográficas de detalle y al Atlas de los dinosaurios.



CONCLUSIONES

Pangea, la Red de los Museos naturalísticos italianos, ha realizado entre febrero y marzo del 2010 la cuarta campaña de investigación del yacimiento nombrado "Valle de los Titanos" en la Provincia de Rio Negro (El Cuy).

A la investigación paleontológica de tres sitios de mayor interés se ha unido el relieve topográfico de detalle del área de estudio que interesa un área de 300m con dorsos e incisiones. Se ha querido fijar el status quo como referencia de los sitios de excavación con todos los hallazgos hasta ahora encontrados y las secciones litostratigráficas estudiadas.

Luego se ha hecho la adquisición 3D de 21 hallazgos óseos significativos de las pasadas campañas de excavación, conservados en el Museo Patagónico de Ciencias Naturales de General Roca. Esta nueva tipología de documentación científica permite que Pangea tenga ya una pequeña base de datos, además de un patrimonio cultural, constituida por modelos digitales de alta resolución de hallazgos in situ (en yacimiento originario) y fuera del contexto. Este material constituye el primer paso del proyecto en que Pangea se está empeñando, junto con el compromiso de terminar el estudio del "Valle de los Titanos" con la construcción de un "Atlas de los Dinosaurios" online. Este proyecto hoy se está realizando y pronto se podrá encontrar en internet.

Figura 12. Arriba la página web dedicada a los videos de Pangea, con los link a la web-tv www.sperimentarea.tv (abajo).



REFERENCIAS

- [1] 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, Río Negro), Actas E-ICES 4. Encuentro Internacional del ICES (2008).
- [2] Finotti F. Landini W. E Zandonai F., 2010. Enfoque multitemporal para la indagación y la valorización geo-ambiental de la Pompei de los dinosaurios “Valle de los Titanos” (El Cuy, Río Negro), Actas E-ICES 5. Encuentro Internacional del ICES (2009), 99-104.
- [3] Foffa D., 2010. Titanosauro del Cretaceo Superiore della valle di El Cuy (Dipartimento di General Roca, Provincia di Río Negro, Argentina), analisi sistematica e modellazione 3D. Tesi di Laurea di 1° Livello. Università di Pisa, Facoltà di Scienze Matematiche, Fisiche e Naturali, Corso di Laurea in Scienze Geologiche.
- [4] Finotti F., Iliceto V., Tonelli A., Canali M. e Zandonai F., 2009. La banca dati ambientale del Museo Civico di Rovereto verso il sistema integrato WebGIS, Atti del Workshop in geofisica (2008), 5, 171-177.
- [5] Finotti F.e Zen E., Lazzeri F., Giovannini M., Angheben R., 2009. Sistema bibliografico e cartografico informatizzato del fiume Adige, Adige-Etsch, 1-2, 30-32.
- [6] Finotti F.e Zen E., Lazzeri F., Giovannini M., 2007. Sistema bibliografico e cartografico informatizzato del fiume Adige, Adige-Etsch, 1, 26-29.

Aceleraciones Máximas Esperadas en torno a la Falla “La Cal”, Mendoza, Argentina

C. D. Frau¹, M. E. Tornello (1),
N. G. Maldonado (1),
A. R. Gallucci (1).

¹ CeReDeTeC, Facultad Regional Mendoza, Universidad Tecnológica Nacional
cdfrau@frm.utn.edu.ar

RESUMEN

La zona aledaña a una falla sismogénica es denominada zona near-fault; en esta zona el movimiento del suelo generado por un terremoto puede presentar efectos de directividad de la ruptura. Este efecto provoca que la mayor parte de la energía liberada llegue a determinados sitios concentrada en un lapso de tiempo muy corto. En el presente trabajo se estudia el caso de la falla sismogénica La Cal; el extremo sur de esta falla penetra francamente en el micro-centro de la ciudad de Mendoza y se cree que ha sido la generadora del terremoto de Mendoza de 1861, el más destructivo de historia sísmica argentina. El trabajo comienza con la delimitación del entorno a la falla denominado zona near-fault. En función de los parámetros sismológicos se calculan las aceleraciones espectrales mediante la aplicación de leyes de atenuación de última generación. Posteriormente se aplican modelos empíricos para corregir las aceleraciones espectrales a fin de considerar los efectos de directividad de la ruptura. Por último se comparan los resultados obtenidos con las aceleraciones que establecen las normas argentinas. Los resultados indican que en la región muy próxima a la falla las aceleraciones del suelo esperadas pueden superar las previstas en los reglamentos de diseño sísmicos actuales.

INTRODUCCIÓN

El movimiento del suelo en la zona aledaña a la ruptura de la falla que origina un terremoto resulta significativamente diferente del que se produce a cierta distancia. En las proximidades de la ruptura el movimiento del suelo está fuertemente influido por el mecanismo de la fuente sísmica, la dirección de propagación de las ondas respecto del sitio de registraci3n y posibles desplazamientos permanentes del suelo [1]; este fenómeno es conocido como directivity (directividad). Según Somerville [2], el forward rupture directivity effect (efecto de directividad de la ruptura hacia adelante) se presenta cuando se reúnen dos condiciones: el frente de ruptura se propaga hacia el sitio de registraci3n y la direcci3n de deslizamiento de

la falla est3 alineada con él. La propagaci3n de la ruptura viaja a una velocidad muy similar a la de las ondas de corte; esto da como resultado que la mayor parte de la energ3a de dislocaci3n llega concentrada en un único y gran pulso de movimiento al inicio del registro. Este pulso de movimiento representa el efecto acumulativo de gran parte de la radiaci3n sísmica proveniente de la fuente y tiende a orientarse en direcci3n perpendicular a la traza de la falla. La zona near-source o near-faultl donde se esperan se produzcan fuerte efectos de directividad abarca una distancia de 15 a 20 km alrededor del área de ruptura de la falla. Así, resulta que una correcta evaluaci3n de la demanda sísmica en esta zona es de vital importancia a fin de que las estructuras allí emplazadas cumplan con el objetivo de proteger la vida humana que postulan los c3digos de diseño sísmico.

La sismicidad de la República Argentina presenta en las zonas de mayor peligrosidad sísmica una distribuci3n de fallas activas muy próximas a grandes centros urbanos. Por sus antecedentes sísmicos y por sus características geotectónicas regionales, la zona del oeste argentino es la de mayor peligro, especialmente la provincia de San Juan y el norte de la provincia de Mendoza. Surge la necesidad de investigar y cuantificar los niveles de las acciones de diseño que contemplen las exigencias que imponen a las estructuras los grandes terremotos en zonas near-source que presenta la Argentina. El presente trabajo se focaliza en el caso particular de la falla La Cal que penetra francamente en la Ciudad de Mendoza.

MARCO TECTÓNICO

En la República Argentina las zonas de fallamiento geológico se manifiestan claramente con desplazamientos de cadenas montañosas, alineaciones de centros volcánicos y formaci3n de valles transversales a las estructuras de fallas [3]. A la luz de la teor3a de la tectónica de placas, se ha considerado generalmente al borde continental oeste de Sudamérica como

parte de la zona de subducción correspondiente a la placa de Nazca en su encuentro con la placa Sudamericana. El proceso en el cual la corteza oceánica, ubicada inmediatamente bajo el Océano Pacífico, se desplaza debajo de las rocas continentales de Sudamérica, ha dado lugar a los principales rasgos estructurales como el complejo de fallamientos, plegamientos y ascensos de rocas del basamento denominado Cordillera de Los Andes.

El desplazamiento horizontal de la placa de Nazca a una tasa de corrimiento promedio de 63 mm/año frente a los 13 mm/año que lo hacen puntos interiores de la placa Sudamericana, es la principal causa de la deformación cuaternaria en Argentina. El resultado es un esquema compresivo con elevación de la mayoría de las estructuras cuaternarias conocidas en el país. La cordillera de Los Andes, la cual se extiende por más de 4000 km; constituye la columna vertebral tectónica y es aquí donde se concentran las principales deformaciones más recientes.

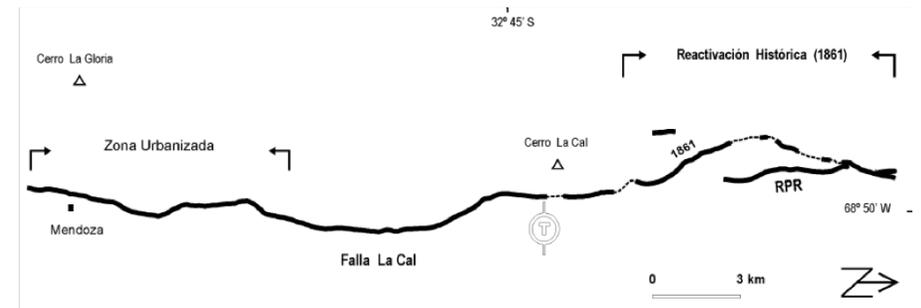
La falla La Cal se ubica al norte de la provincia de Mendoza dentro de la provincia geológica denominada "Precordillera" compuesta por pliegues elevados por empuje que constituyen las estribaciones de Los Andes entre los paralelos 29°S y 33°S. Al sur del paralelo 32°S las deformaciones cuaternarias están representadas principalmente por bloques compresionales ciegos y emergentes provenientes de fallas inversas que pueden presentar bajo o alto ángulo en superficie pero tienden a horizontalizarse en profundidad. Este fenómeno se supone ocurre entre los 6 y 8 km bajo la superficie. El terremoto mendocino del 20 de marzo de 1861, con la falla La Cal como fuente sismogénica, marca el inicio de una serie de eventos sísmicos que afectaron a las provincias de San Juan y Mendoza.

FALLA LA CAL

La falla La Cal se ubica al norte de la provincia de Mendoza, su extremo sur penetra francamente en la Ciudad Capital. La Figura 1 muestra la traza y ubicación de la falla La Cal. De acuerdo con [4] la falla La Cal fue la generadora del terremoto de Mendoza del 20 de marzo de 1861. La intensidad máxima estimada alcanzó los IX grados en la escala Mercalli modificada y se estima que alcanzó una magnitud de 7.0 Richter.

Valiosos relatos de la época fueron recopilados por la Junta de Estudios Históricos de Mendoza en su Revista de 1938, Vol. X titulada "El terremoto del 20 de marzo de 1861"; estos relatos aportan interesantes datos, dando cuenta del carácter impulsivo y de la presencia de efectos de directividad que presentó este terremoto. A continuación extractamos un relato por demás elocuente.

Figura 1 – Falla La Cal [4]



“La tierra se movía como mecida por una mano poderosa. Los edificios oscilaban de este a oeste... una estampa pendiente de un clavo en la pared, que estaba de oriente a poniente, oscilaba en esa dirección. Lo que no se habría verificado si el movimiento hubiera sido en otro sentido, porque la estampa hacía las veces de péndulo que sólo podía oscilar en una sola manera. ... los que pudimos fijar nuestra atención en los muebles que saltaban sobre el pavimento de las habitaciones. La ola terrestre, haciendo pasar la superficie plana del terreno a la curva, desplomó primero hacia el Este los edificios y después los movió horizontalmente en la misma dirección, pero elevándolos. Las murallas perpendiculares a la dirección del movimiento cayeron alternativamente al Oeste y al Este, mientras que las que se hallaban colocadas paralelamente, o en el sentido del movimiento, se rasgaron de alto abajo. Advertiré que las calles de Norte a Sur..., fuesen las que más se obstruyesen por los escombros, porque sus murallas laterales eran casi perpendiculares a la dirección del movimiento. He tenido después la satisfacción de ver comprobada esta conclusión, por las observaciones sismométricas,... que practiqué durante ocho meses de mi residencia en la ciudad destruida. Todos los temblores notables fueron de movimiento oscilatorio u ondulatorio de Oeste-Suroeste a Este Noreste.” (Franklin Villanueva).

Para el presente trabajo resulta de gran relevancia y necesidad la determinación del terremoto potencial máximo (TPM). El TPM es el mayor terremoto que es capaz de generar una falla; es evaluado en términos de magnitud que en este caso se la designa como Magnitud Máxima Capaz (MMC). Las definiciones de TPM ó MMC dadas precedentemente no involucran un periodo de tiempo determinado, por lo que se dice que son valores determinísticos que responden a la potencialidad física de la falla para generar terremotos y no a su recurrencia. En este estudio, la determinación de la MMC se realizó a través de relaciones empíricas que

vinculan parámetros geométricos de las fallas con la magnitud y tomando como límite inferior el mayor terremoto histórico conocido asociado a la falla en estudio. Para ello se aplicaron las relaciones empíricas de Wells and Coppersmith [5] en función de la longitud de ruptura superficial según la Ec. (1); donde M es la magnitud momento, y L_{RS} es la longitud de ruptura superficial tomada igual a 30.7 km según [4]. La medida en profundidad del área de ruptura, perpendicular a la longitud es el ancho de ruptura W .

El largo y ancho conforman el área de ruptura y reviste gran interés en la delimitación de las regiones near-fault como así también para cuantificar los espectros de respuesta y los efectos de directividad. Para su determinación se aplicó la Ec. (2) de Wells and Coppersmith [5] donde M es la magnitud momento y R_W es el ancho de ruptura en km. Los demás parámetros geológicos se extrajeron de [3] y se resumen en la Tabla 1.

$$(1) \quad M = 5.0 + 1.22 \cdot \log_{10}(L_{RS})$$

$$(2) \quad \log_{10}(R_W) = -1.61 + 0.41 \cdot M$$

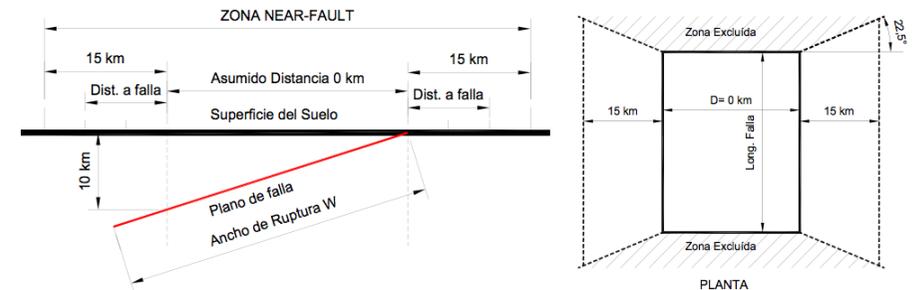
Tabla 1 – Parámetros sismológicos de la falla La Cal

| FALLA LA CAL | | | | |
|---|------------------------|--------------------------------|----------------------|---------|
| Ubicación: Cerro La Cal, Dpto. Las Heras, Prov. Mendoza | | | | |
| Long. Acum. | Mag=f(L) | Terremoto Histórico | Mmáx Adop. | Ancho W |
| 30.7 km | 6,8 | 20-03-1861# | M=7.0 | 6,8 |
| Ancho W: 15,4 km | | | | |
| Ambiente Geológico: | | | | |
| Localizada en el piedemonte del sector más austral de la Precordillera | | | | |
| | | | | |
| Intervalo de recurrencia | 1300 años | Tasa de Movimiento: 1-5 mm/año | | |
| Clasificación Importancia: | A | Tipo de Falla: Inversa | | |
| Rumbo: N8°E | Inclinación δ : | 45°W | Rake λ : 90° | |
| Observaciones: | | | | |
| (*) Dado que la estimación de la magnitud histórica está basada exclusivamente en relatos históricos se adoptó la obtenida s/Wells y Coppersmith. | | | | |
| #Según Mingorance, 2001. | | | | |

ZONA NEAR-FAULT

La porción de terreno que se encuentra en las inmediaciones de una falla activa y que está expuesta al fenómeno near-fault es lo que se conoce como “zona cercana a falla”. Este término es comúnmente designado en la literatura como near-source, near-fault o near-field. No existe un criterio unificado para establecer los límites de la zona near-fault. Según el Bluebook 1996 (SEAO), el fenómeno requiere consideraciones especiales de diseño para las estructuras que se ubican dentro de la región near-field, usualmente considerada dentro de los 10 a 15 km de la fuente sísmica. El UBC-1997 estableció como distancia límite para considerar el efecto de proximidad a fallas 15 km. Así, para el presente estudio la zona near-fault estará comprendida por una franja denominada distancia cero y dos franjas laterales de 15 km de ancho como lo muestra la Figura 2a. En fallas inversas, los extremos presentan áreas excluidas de directividad como lo muestra la Figura 2b [6].

Figura 2 - Criterio adoptado para establecer en la zona near-fault

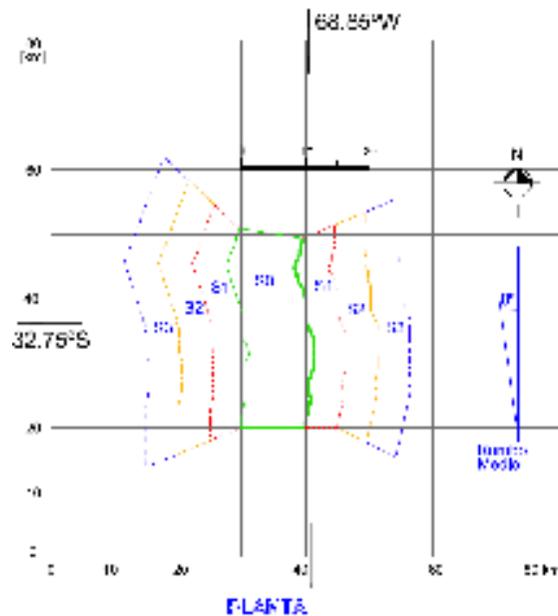


A los fines del cálculo de los espectros de respuesta y factores por cercanía a falla, la zona near-fault se divide en cuatro áreas como lo muestra la Figura 3, donde S_0 es la zona de distancia cero y S_1 , S_2 y S_3 son cada una de las franjas de 5 km de ancho a cada lado.

ESPECTROS DE RESPUESTA ELÁSTICA

En el cálculo de los espectros de pseudo-aceleración elástica se aplicó el modelo de Campbell y Bozorgnia [8] que pertenece a la serie NGA (Next Generation Attenuation of Ground Motion). Los datos que alimentaron el modelo fueron: magnitud 7.0; ancho del área de ruptura 15.40 km; ángulo de inclinación del plano de ruptura 45° al oeste; falla tipo inversa; profundidad al techo de la ruptura cosísmica 0.5 km, la profundidad al lecho rocoso con velocidad de onda de corte mayor a 2.5 km/s se tomó igual a 0.20 km y clase de sitio “B” según NEHRP con velocidad de onda de corte igual a 1130 m/s.

Figura 3- Zona near-fault para la falla La Cal [7]



Las distancias al plano de ruptura R_{rup} y la distancia a la proyección del área de ruptura sobre la superficie R_{jb} se computaron desde los límites que dividen la zona near-fault y se consideraron los efectos de hanging-wall diferenciándolos de los sitios ubicados en el foot-wall.

Como variable dependiente de los modelos de atenuación se obtuvieron espectros de respuesta de aceleración elástica para el 5% de amortiguamiento de la media geométrica horizontal $GMRotI50$ definida por Boore et al. (2006). En cada caso los cálculos abarcaron 17 periodos entre 0.01 y 3 segundos. Los resultados obtenidos se muestran en la Figura 4.

MODELOS DE DIRECTIVIDAD Y MÁXIMA DEMANDA

Directividad media, normal y paralela a la falla

Para la evaluación de los efectos de directividad, Somerville et al. [6] desarrollaron modelos empíricos; estos modelos vinculan parámetros de la fuente sísmica con parámetros del movimiento del suelo que son afectados por directividad. Los parámetros del movimiento del suelo que son afectados, según el modelo de Somerville, son principalmente la media geométrica horizontal de la aceleración espectral correspondiente a dos direcciones (hori-

zontales) perpendiculares y la relación entre la componente normal (o paralela) respecto de la media geométrica horizontal de las aceleraciones espectrales; donde el término "normal" se refiere a la componente horizontal de dirección perpendicular al deslizamiento de la falla mientras que el término "paralelo" se refiere a la componente horizontal de dirección paralela al deslizamiento. Los autores estimaron que la variación de las amplitudes del movimiento dependen fundamentalmente de dos parámetros geométricos de la fuente sísmica: el menor ángulo formado por la dirección de propagación de la ruptura y la dirección de las ondas viajando desde el hipocentro al sitio en cuestión y la mayor porción de longitud de falla que se encuentre entre el hipocentro y el sitio (Figura 5).

Figura 4 – Espectros de respuesta elástica para zona near-fault de la falla la cal según el modelo de Campbell y Bozorgnia [8]. Las líneas rojas y azules pertenecen a contornos ubicados en el hanging-wall y sobre el foot-wall respectivamente; la línea negra es el sitio con menor distancia R_{rup} dentro de la zona de distancia cero.

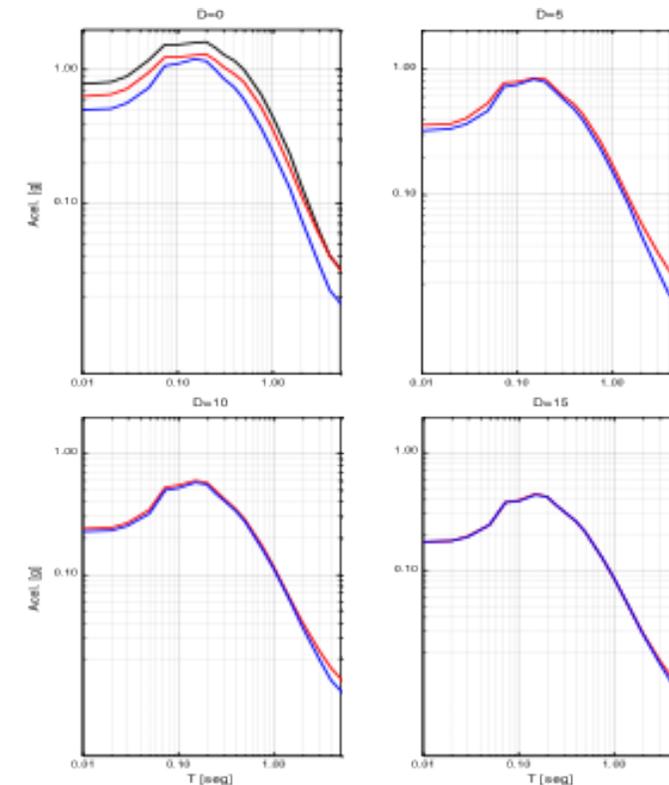
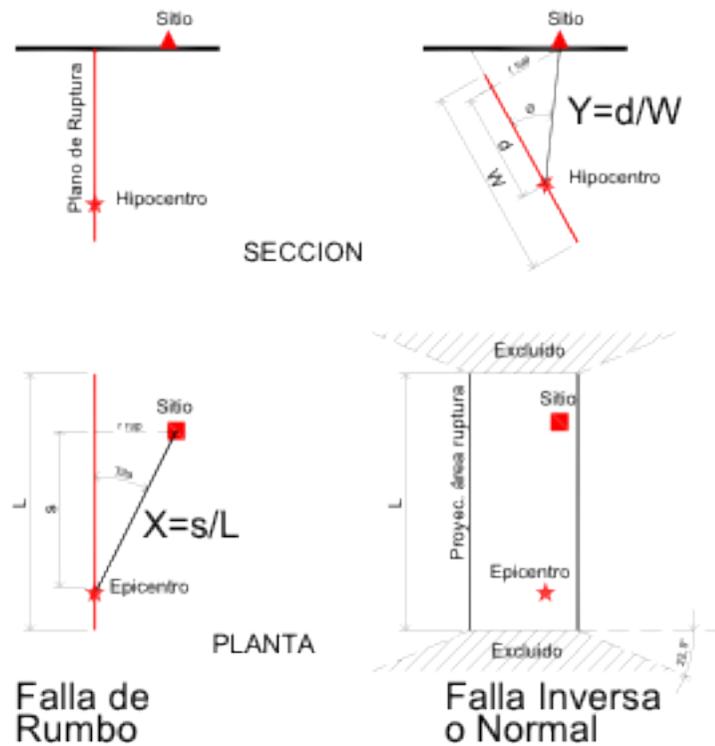


Figura 5 - Parámetros geométricos del modelo de directividad [6]



Demanda Espectral Máxima

Howard [9], con el fin de evaluar los efectos de directividad, estudiaron la dirección y amplitud de la denominada aceleración espectral máxima SAMAX, obtenida a partir de una "Intensidad Espectral" SI que integra la aceleración espectral sobre un rango de periodos de 0.5 a 3.0 s. El estudio reveló que especialmente en fallas inversas la orientación de SAMAX no concuerdan con la dirección normal a la falla y que la amplitud de SAMAX excede la que arrojan los modelos de Somerville et al. [6], [10]. Sobre esta base Beyer y Bommer [11] definieron una máxima demanda de aceleración espectral (MáxD).

Por último, para cuantificar adecuadamente la demanda sísmica en zonas near-fault Huang [12] desarrollaron factores de escala que transforman la media geométrica predicha por relaciones de atenuación NGA (Next Generation of Attenuation) en la máxima demanda espectral.

Se evaluaron los efectos de directividad de la ruptura en las zonas near-fault de la falla La Cal. Para ello se determinaron los factores espectrales que permiten corregir las aceleraciones espectrales obtenidas mediante la aplicación de leyes de atenuación del tipo NGA para considerar en ellas los efectos de directividad. Se calcularon cuatro factores espectrales para corrección por directividad: a) fem que corrige la media geométrica de aceleración espectral horizontal sin directividad y arroja como resultado la media geométrica con directividad; fen-m, que aplicado a la media geométrica con directividad da como resultado la aceleración espectral horizontal en la dirección normal a la falla; c) fep-m que aplicado a la media geométrica con directividad da como resultado la aceleración espectral horizontal en la dirección paralela a la falla y d) femáx que aplicado a la media geométrica de aceleración espectral horizontal sin directividad y arroja como resultado la máxima demanda espectral por directividad. A partir de los espectros de pseudo-aceleración obtenidos mediante la aplicación de las leyes de atenuación del tipo NGA, y de los factores de modificación por directividad se calcularon nuevos espectros de aceleración elástica que incluyen efectos de directividad (Figura 6 y 7).

Figura 6– Espectros con directividad sobre le hanging-wall: rojo=máxima demanda; azul=normal; magenta=media; negro=sin directividad y trazos=paralela.

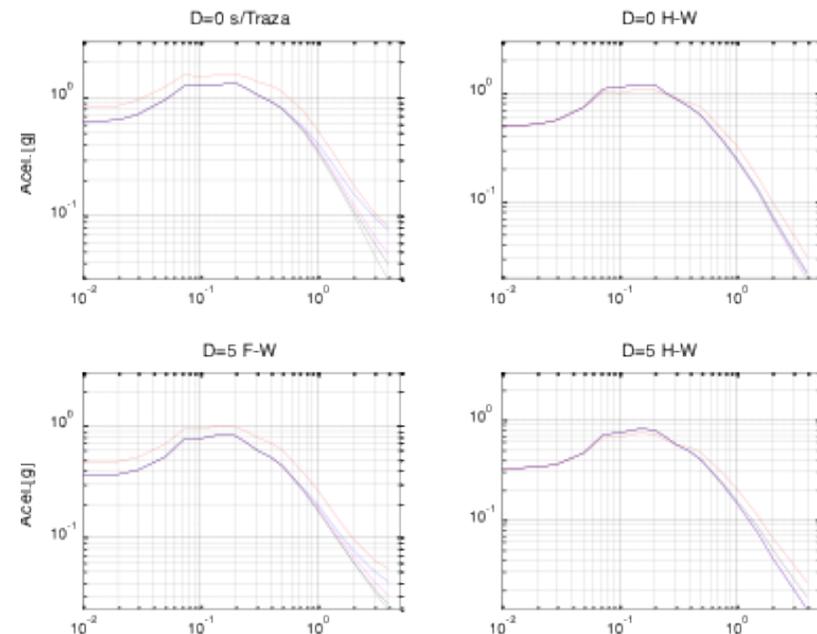
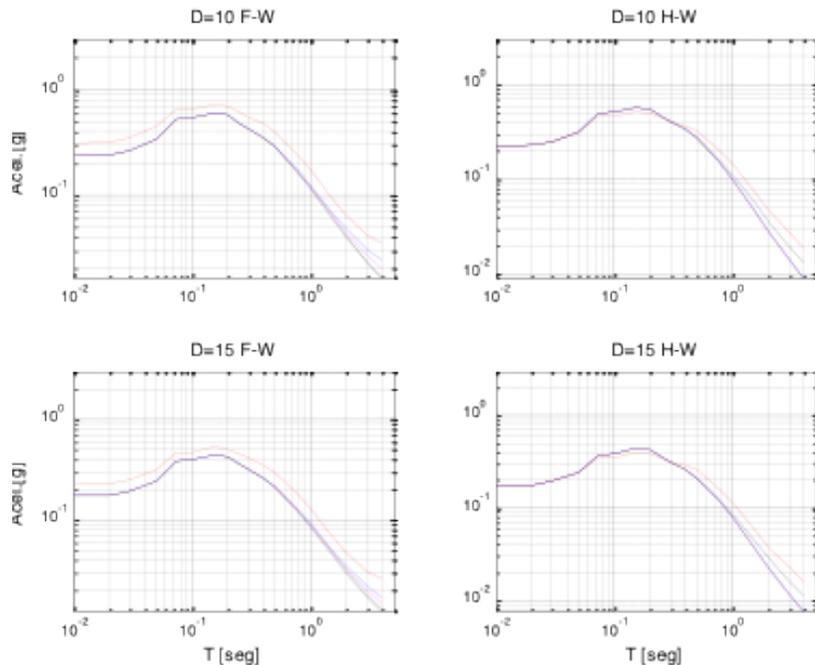


Figura 7– Espectros con directividad sobre el foot-wall: rojo=máxima demanda; azul=normal; magenta=media; negro=sin directividad y trazos=paralela



Aceleraciones máximas

En la Tabla 2 se resumen los valores obtenidos para las aceleraciones máximas esperadas para cada una de las zonas near-fault. Se muestran los valores sin y con efectos de directividad como así también la máxima demanda. En la tabla PGA corresponde a la aceleración máxima del suelo en tanto que $S_a(T=0.2)$ y $S_a(T=1.0)$ son las ordenadas espectrales para periodos de 0.2 y 1.0 segundos respectivamente.

Como puede apreciarse las aceleraciones toman valores muy elevados en la zona de la traza de la falla pero presentan una fuerte atenuación con la distancia. Las distintas distancias para las cuales se han calculados las aceleraciones se designan con la letra "D" acompañado de un numero que representa los km; la letra "T" se refiere a los sitios ubicados sobre la traza de la falla en tanto que las letras H y F hacen referencias a las zonas sobre el hanging-wall y el foot-wall (Figura 8).

Figura 8– Designación de las distancias en las cuales se calcularon los parámetros sísmicos

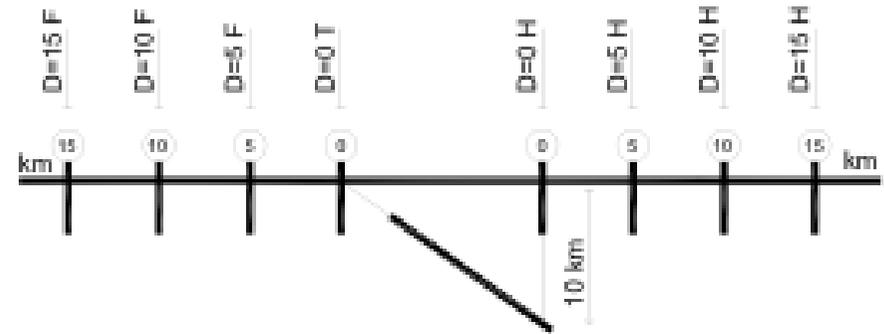


Tabla 2. Aceleraciones máximas esperadas en torno a la falla La Cal.

| FALLA LA CAL | | | | |
|--------------|------------------------|---------------------------|--------------|--------------|
| Limite Area | Caso | Ordenadas Espectrales [g] | | |
| Near-Fault | | PGA | $S_a(T=0.2)$ | $S_a(T=1.0)$ |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| D=0T | Media sin Directividad | 0.633 | 1.316 | 0.358 |
| | Media con Directividad | 0.633 | 1.316 | 0.375 |
| | Normal a la Falla | 0.633 | 1.316 | 0.411 |
| | Paralela a la Falla | 0.633 | 1.316 | 0.343 |
| | Máxima Demanda | 0.623 | 1.579 | 0.537 |
| D=0H | Media sin Directividad | 0.500 | 1.176 | 0.247 |
| | Media con Directividad | 0.500 | 1.176 | 0.242 |
| | Normal a la Falla | 0.500 | 1.176 | 0.245 |
| | Paralela a la Falla | 0.500 | 1.176 | 0.239 |
| | Máxima Demanda | 0.500 | 1.068 | 0.321 |
| D=5F | Media sin Directividad | 0.356 | 0.817 | 0.179 |
| | Media con Directividad | 0.356 | 0.817 | 0.188 |
| | Normal a la Falla | 0.356 | 0.817 | 0.196 |
| | Paralela a la Falla | 0.356 | 0.817 | 0.178 |
| | Máxima Demanda | 0.463 | 0.980 | 0.269 |
| D=5H | Media sin Directividad | 0.323 | 0.783 | 0.159 |
| | Media con Directividad | 0.323 | 0.783 | 0.147 |
| | Normal a la Falla | 0.323 | 0.783 | 0.147 |
| | Paralela a la Falla | 0.323 | 0.783 | 0.147 |
| | Máxima Demanda | 0.323 | 0.706 | 0.206 |
| D=10F | Media sin Directividad | 0.237 | 0.576 | 0.117 |
| | Media con Directividad | 0.237 | 0.576 | 0.122 |
| | Normal a la Falla | 0.237 | 0.576 | 0.127 |
| | Paralela a la Falla | 0.237 | 0.576 | 0.118 |
| | Máxima Demanda | 0.309 | 0.691 | 0.175 |
| D=10H | Media sin Directividad | 0.226 | 0.552 | 0.112 |
| | Media con Directividad | 0.226 | 0.552 | 0.101 |
| | Normal a la Falla | 0.226 | 0.552 | 0.101 |
| | Paralela a la Falla | 0.226 | 0.552 | 0.101 |
| | Máxima Demanda | 0.226 | 0.497 | 0.146 |
| D=15F | Media sin Directividad | 0.173 | 0.424 | 0.086 |
| | Media con Directividad | 0.173 | 0.424 | 0.091 |
| | Normal a la Falla | 0.173 | 0.424 | 0.093 |
| | Paralela a la Falla | 0.173 | 0.424 | 0.089 |
| | Máxima Demanda | 0.225 | 0.509 | 0.130 |
| D=15H | Media sin Directividad | 0.172 | 0.421 | 0.087 |
| | Media con Directividad | 0.172 | 0.421 | 0.078 |
| | Normal a la Falla | 0.172 | 0.421 | 0.078 |
| | Paralela a la Falla | 0.172 | 0.421 | 0.078 |
| | Máxima Demanda | 0.172 | 0.379 | 0.113 |

FACTORES POR CERCANÍA A LA FALLA

A partir de los espectros de respuesta con inclusión de los efectos de directividad y tomando como base los espectros de diseño del proyecto de reglamento IC103-2008 es posible calcular factores por cercanía a falla para modificar los espectros y poder contemplar los efectos de directividad en zonas cercanas a fallas activas. Para ello se convirtieron los espectros con directividad a sitio clase C (NEHRP) a fin de compatibilizarlos con el tipo espectral I de nuevo reglamento argentino [15].

Reglamento IC 103- 2008

Esta versión presenta una zonificación sísmica que se organiza por la aceleración efectiva en sitio y define el tipo espectral I para sitios clase A, B y C; II para clase D y III para clase E (NEHRP). Los espectros de diseño del IC103-2008 siguen los lineamientos del UBC-97 definiendo los parámetros:

$$(3) \quad C_a = f_a \cdot N_a \qquad C_v = f_v \cdot N_v$$

Donde f_a y f_v son los valores numéricos que contiene la Tabla 3 y C_a y C_v son las ordenadas espectrales para $T=0$ y $T=1s$ respectivamente. Los periodos característicos están dados por $T2=Cv/(2.5 Ca)$ y $T1= 0.2 T2$.

Tabla 3 - Coeficientes f_a y f_v para determinar C_a y C_v en IC103-2008

| Tipo Espectral | Zona Sísmica | | | | | | | |
|----------------|--------------|------------|------------|------------|---------|-------|---------|-------|
| | 4 | | 3 | | 2 | | 1 | |
| | as=0.35 | | as=0.25 | | as=0.15 | | as=0.08 | |
| | C_a | C_v | C_a | C_v | C_a | C_v | C_a | C_v |
| I | 0,37 N_a | 0,51 N_v | 0,29 N_a | 0,39 N_v | 0,18 | 0,25 | 0,09 | 0,13 |
| II | 0,40 N_a | 0,59 N_v | 0,32 N_a | 0,47 N_v | 0,22 | 0,32 | 0,12 | 0,18 |
| III | 0,36 N_a | 0,90 N_v | 0,35 N_a | 0,74 N_v | 0,30 | 0,50 | 0,19 | 0,26 |

*En todos los casos $N_a=1.0$ y $N_v=1.2$

Al momento de la redacción del proyecto de reglamento la comisión redactora estaba conciente de la importancia de los efectos de directividad en la acciones de diseño, más aún cuando en el centro-oeste argentino grandes conglomerados urbanos se ubican en las inmediaciones de importantes fallas activas [13], [14]. Sin embargo, dada la falta de investigación de estos aspectos entorno al fallamiento activo en Argentina se consideró conveniente establecer factores únicos $N_a=1.0$ y $N_v=1.2$ para todo el ámbito de las zonas sísmicas 3 y 4.

De esta manera, futuras investigaciones y avances del conocimiento permitirían una fácil incorporación al reglamento de los factores por cercanía a falla N_a y N_v específicos en cada caso particular.

Factores N_a y N_v para uso en diseño

A partir de los espectros de diseño del reglamento IC103-2008 y de los espectros con directividad determinados en este estudio, se calcularon los factores N_a y N_v . Estos factores son el cociente entre las ordenadas espectrales con directividad transformadas a sitio Clase C y las correspondientes ordenadas espectrales del proyecto de reglamento IC103-2008. Los resultados obtenidos se muestra las Tablas 4, las celdas sombreadas de gris destacan que los valores obtenidos son menores a uno.

Tabla 4 – Factores por cercanía a falla N_a y N_v para la falla La Cal

| FALLA | Caso | D=0T | | D=5H | | D=5F | | D=5H | | D=10F | | D=10H | | D=15F | | D=15H | |
|---------------|---------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | | N_a | N_v |
| AR30 - LA CAL | Medio con Direct. | 1,4 | 1,0 | 1,3 | 0,7 | 0,9 | 0,6 | 0,8 | 0,5 | 0,7 | 0,4 | 0,6 | 0,3 | 0,5 | 0,3 | 0,5 | 0,3 |
| | Normal a la Falla | 1,4 | 1,0 | 1,3 | 0,7 | 0,9 | 0,6 | 0,8 | 0,5 | 0,7 | 0,4 | 0,6 | 0,3 | 0,5 | 0,3 | 0,5 | 0,3 |
| | Paralela a la Falla | 1,4 | 0,9 | 1,3 | 0,7 | 0,9 | 0,5 | 0,8 | 0,5 | 0,7 | 0,4 | 0,6 | 0,3 | 0,5 | 0,3 | 0,5 | 0,3 |
| | Máxima Demanda | 1,7 | 1,4 | 1,1 | 0,8 | 1,1 | 0,7 | 0,8 | 0,6 | 0,7 | 0,5 | 0,6 | 0,5 | 0,6 | 0,4 | 0,5 | 0,4 |

CONCLUSIONES

Se caracterizó a la fuente sísmogénica falla “La Cal” desde un punto de vista sísmológico. Siguiendo criterios actuales se delimitó la zona que puede encuadrarse como zona cercana a falla o near-fault donde se espera se presenten efectos de directividad de la ruptura y mediante la aplicación de leyes de atenuación se calcularon espectros de respuesta para sitios near-fault ubicados a 0, 5, 10 y 15 km de falla. Se modificaron los espectros de respuesta para incluir en ellos los efectos de directividad y se calcularon factores por cercanía a falla para modificar los espectros de diseño del actual proyecto de reglamento argentino de diseño sísmico.

Se observa que las aceleraciones máximas del suelo (PGA) en sitios con distancia “cero” a la falla son mayores que los valores que propone el nuevo código de diseño sísmico argentino. A mayores distancias los valores de la norma cubren la demanda con directividad en sus distintos casos (media, normal y máxima). En la región espectral sensible a las velocidades, sólo en los sitios ubicados sobre la traza de la falla las aceleraciones espectrales por “máxima demanda” superan las de código. Para el resto de los casos y distancias el espectro de norma cubre la demanda con directividad en sus distintos casos (media, normal y máxima).

AGRADECIMIENTOS

Se agradece a la Universidad Tecnológica Nacional, Programa de Becas para Docentes; se agradece también a los integrantes del CeReDeTeC dentro del cual se llevó adelante este trabajo.

REFERENCIAS

- [1] Stewart, J., S. Chiou, J. Bray, R. Graves, P. Somerville and N. Abrahamson (2001). Ground motion evaluation procedures for performance-based design. PEER Report 2001/09..
- [2] Somerville, P. G. and N. F. Smith (1996). Accounting for near-fault rupture directivity in the development of design ground motions. Proceedings of the 11th WCEE, Acapulco, Mexico, N° 711.
- [3] Costa, C., M. N. Machete, R. L. Dart, H. E. Bastías, J. D. Paredes, L. P. Perucca, G. E. Tello and K. M. Haller (2000). Map and database of quaternary faults and folds in Argentina. USGS, International, Lithosphere Program, Report 00-0108, February, 2000.
- [4] Mingorance, F. (2001). Parámetros geológicos de la deformación cosísmica asociada al terremoto de Mendoza de 1861, (M=7.0), Argentina. 7th Congress of the Brazilian Geophysical Society, Solid Earth Geophysics, Salvador, Brazil. Actas TS27: 1316-1319.
- [5] Wells, D. L. and K. J. Coppersmith (1994). New empirical relationships among magnitude, rupture length, rupture width, rupture area and surface displacement. BSSA, Volume 84, N° 4, 974-1002.
- [6] Somerville, P. G., N. F. Smith, R. F. Graves and N. A. Abrahamson (1997). Modification of empirical strong ground motion attenuation relations to include the amplitude and duration effects of rupture directivity. Seismological Research Letters, Volume 68, N° 1, 199-222.
- [6] Frau, C. D. (2009). "Demanda sísmica incluyendo efectos de directividad en zonas near-fault de Argentina. Tesis Doctoral, 488pp, Facultad Regional Mendoza, UTN, Argentina.
- [8] Campbell, K.W. and Y. Bozorgnia (2008). NGA ground motion model for the geometric mean horizontal component of PGA, PGV, PGD and 5% damped linear elastic response spectra for periods ranging from 0.01 to 10s. Earthquake Spectra, Volume 24, N° 1, February, 2008, 94-127.
- [9] Howard, J. K., C. A. Tracy and R. G. Burns (2005). Comparing observed and predicted directivity in near-source ground motion. Earthquake Spectra, Volume 21, N° 4, November 2005, 1063-1092.
- [10] Abrahamson, N. A. (2000). Effects of rupture directivity on probabilistic seismic hazard analysis. Sixth International Conference on Seismic Zonation, Oakland, California.
- [11] Beyer, K., and J. J. Bommer (2006). Relationships between median values and between aleatory variabilities for different definitions of the horizontal component of motion. BSSA, Vo.96.
- [12] Huang, Y., A. S. Whittaker and N. Luco (2008). Maximum spectral demands in the near-fault region. Earthquake Spectra, Volume 24, N° 1, 319-341, February 2008.
- [13] Saragoni, R. (2004). Características destructivas de los acelerogramas de fuente cercana y los grandes terremotos argentinos. XVIII Jornadas de Ing. Estructural, Conf. N°4, Bs. As, Argentina.
- [14] Frau, C. D. y G. R. Saragoni (2005b). Demanda sísmica de fuente cercana. Situación del Oeste Argentino. Cong. Chileno de Sismología e Ingeniería Antisísmica, IX Jornadas, Concepción, Chile.
- [15] Frau, C. D. y G. R. Saragoni. (2010). Espectros de diseño incluyendo efectos de directividad de la ruptura para la falla La Cal en la Ciudad de Mendoza, Argentina. Congreso Chileno de Sismología e Ingeniería Antisísmica. X Jornadas. Santiago de Chile, 22 al 27 mayo 2010.

Trazas de la Pequeña Edad Glacial en el extremo sur de Sudamérica (1618-1810)

RESUMEN

La historia climática del extremo austral de América del Sur durante el período colonial es poco conocida, no obstante la existencia de catástrofes que repercutieron en los asuntos políticos y económicos. Las fuentes documentales permiten delinear un esquema con lluvias torrenciales, crecidas de ríos, inundaciones, sequía o años extremadamente fríos. Estos sucesos estuvieron asociados a fluctuaciones notables en el control climático del Pacífico suroriental, del cual El Niño-Oscilación Meridional (ENOS) es el principal determinante. En la vertiente Pacífico, los años de lluvias torrenciales, nevazones en la cordillera, las crecidas de ríos e inundaciones tienen concomitancias con eventos El Niño en el norte del Perú. Lo mismo sucede, pero en menor grado, en la vertiente argentina de los Andes. Las sequías y períodos de frío ocurrieron con más frecuencia durante años en los cuales no hay mención de episodios El Niño en el Pacífico. Estas relaciones son probadas por medio de tablas contingencia. El análisis revela que la Pequeña Edad Glacial fue un período altamente congestionado en América del Sur templada. El período 1618-1720 muestra episodios climáticos extremos que revelan la severidad del clima mundial durante el llamado Mínimo de Maunder (1645-1715). Luego se advierte un remonte global que culmina en la década de 1770.

INTRODUCCION

En la historia climática del continente hay lagunas en lo referente a las condiciones y singularidades climáticas de los actuales territorios de Argentina y Chile durante los siglos XVI, XVII y XVIII. Esta limitación, en cierta medida, se debe a la falta de fuentes. Por los datos que hemos recuperados para realizar el presente análisis, sabemos que en esta vasta región se experimentaron episodios ambientales de gran magnitud que se correspondieron con ese cruento período conocido como la Pequeña Edad Glacial [1]. En este trabajo se detallan episodios ambientales críticos y se los relacionará con las variaciones de la Oscilación Meridional y El Niño (ENOS). Las referencias históricas exponen los efectos de aquellas crisis climáticas del periodo colonial, mientras que las

**M. Gascón (1),
C. Caviedes (2).**

1 CONICET, Av. Ruiz Leal s/n, Parque Gral. San Martín, 5500-Mendoza, Argentina.

2 Departamento de Geografía, University of Florida, Gainesville, FL 32611.

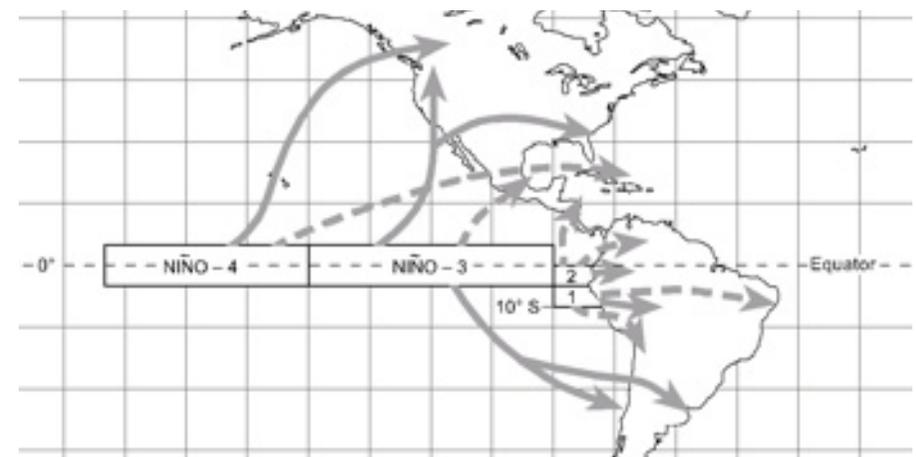
gascon@lab.cricyt.edu.ar

referencias a ENSO en el Pacífico suroriental provienen de la cronología de El Niño en el norte del Perú compilada por William Quinn et al [2]. Dicha cronología es la más confiable y autorizada. La coincidencia temporal de las crisis climáticas coloniales de Argentina y Chile son referidas a esa cronología y su significación estadística es probada por medio de un análisis de tablas de contingencia y su comprobación mediante tests de adecuación X² [3].

Premisas iniciales

La interpretación del origen y consecuencias de las fluctuaciones climáticas asociadas con ENSOs está basada en un modelo actualista aplicado al pasado (Gráfico 1).

Gráfico 1. Correlaciones entre temperaturas oceánicas cálidas en diferentes sectores de El Niño ecuatorial, y alta pluviosidad [flechas grises continuas] y baja pluviosidad [flechas discontinuas] (Caviedes).



Durante las fases cálidas y húmedas de ENSO (El Niño) el Pacífico suroriental es invadido por aguas cálidas sobre las cuales hay masas de aire húmedas que causan lluvias de verano concentradas sobre la vertiente siempre árida de los Andes al sur del Ecuador. En las latitudes templadas, las aguas cálidas intensifican la generación de frentes y ciclones asociados durante el invierno previo o siguiente a El Niño: llueve intensamente en la vertiente chilena de la cordillera, nieva abundantemente en los Andes argentino-chilenos y hay crecidas e inundaciones en los ríos tanto de Chile como de Cuyo. Además, en la cuenca del Paraná y Río de la Plata, hay copiosas lluvias otoñales y grandes crecidas durante los episodios más intensos de El Niño. En las fases frías y secas de La Niña, predomina la sequedad a lo largo de la vertiente Pacífico de Perú y Chile, y hay sequías en Chile Central, Cuyo y la Pampa. Se asume que los episodios de sequedad en el pasado colonial fueron provocados por fases frías en el Pacífico suroriental. Estas fluctuaciones dejaron evidencias en los documentos históricos donde se registraron las interrupciones ocasionadas por el clima extremo en la vida cotidiana.

ANALISIS DE DATOS

El registro histórico de calamidades climáticas

La enumeración de las singularidades climáticas se concentra a partir de 1618 dentro de la Pequeña Edad Glacial y del período de baja actividad solar llamado Mínimo Maunder para culminar con evidencias del lapso de ascenso de las temperaturas globales conocido como el Remonte de 1770. (No registramos acá la totalidad de los datos históricos recabados sino los más significativos).

Después de una cierta pasividad en el tránsito del siglo XVI al XVII, los síntomas de un período convulsivo en la historia climática mundial se empezaron a manifestar en el cono sur de Sudamérica. Entre 1607 y 1609 las lluvias en Chile y fuertes nevazones en la cordillera de Mendoza cerraron el tráfico cordillerano y causaron inundaciones en Santiago. En aquel 1609 también se registraron crecidas en el Paraná. Para Santiago de Chile los picos de exceso de lluvias ocurrieron en 1618 y 1619 cuando se salió el río Mapocho de madre, anegándose una gran parte de la ciudad. La situación continuó así hasta 1623, indicando un pico de humedad [4].

Entre 1626 y 1629 fue la sequedad lo que afectó a Chile Central y Cuyo, coincidiendo con un período sin fenómenos El Niño. En cambio, coincidiendo con dos El Niño muy fuertes en 1630 y 1631, hubo un aumento las precipitaciones en los valles inter-monta-

nos y zona alta de los valles de Uco, Xaurúa y Llocorón en Mendoza, mientras que en el sur de Chile avanzaba el glaciar del Río Manso (41° S), según Villalba [5]. El pico de frío en la Araucanía que se registró en 1640 nosotros lo asociamos a una erupción del volcán Villarrica en 1639 ya que la nube volcánica dificultó que llegasen rayos solares con la subsiguiente crisis alimenticia que llevó a pactar una tregua entre araucanos y españoles en el Parlamento de Quillín de 1641 [6].

Una recrudescencia de lluvias torrenciales e inundaciones tuvo lugar entre 1647 y 1652 en conjunción con tres episodios ENSO de intensidad mayor y media [7]. Consecuencias de estas variaciones climáticas en 1652 fueron una plaga de langostas en Corrientes y una crecida del río Paraná [8]. El subsiguiente período de aridez se expresó en la denuncia por la escasez de agua que hubo en Corrientes en 1655 y en las rogativas en Santiago de Chile debido a la sequedad. Pero entre 1656 y 1658 hubo repetidas crecidas del Paraná que obligaron la reubicación de la ciudad de Santa Fe. Sin embargo, hacia 1664 la sequía originó una brutal plaga de langostas que, se decían, venían bajando desde el Chaco debido a la sequedad. Hacia 1670 el clima es muy frío y seco en el Altiplano, en el centro de Chile y en la Araucanía; en los mares de Chile los temporales provocaban un inusual alto número de naufragios, de manera que en 1673 se prohibió la navegación costera entre el 15 de mayo y el 15 de agosto [9].

Entre 1680 y 1740, hubo 13 eventos de los cuales dos El Niño fueron muy fuertes. En 1686, por ejemplo, hubo un invierno tan frío en la Araucanía que se murieron los caballos y las vacas que sustentaban el ejército en la frontera. 1687 fue un año de ENSO y Santiago fue afectada por los desbordes del Mapocho [10]. Las subsecuentes sequías se prolongaron con pocas interrupciones hasta 1686, aun cuando hubo ENSOs medianos e intensos en 1681, 1683 y 1684 [11], aunque sin que hayamos encontrado aún en las fuentes registros de consecuencias notables para Argentina y Chile. No obstante, hemos encontrado evidencias para los años posteriores: en 1686 cuando hubo un invierno muy severo en la Araucanía dentro de un nuevo ciclo de ENSOs húmedos, Santiago de Chile experimentó inundaciones en 1687 y 1688, y también el Paraná tuvo crecidas en esos años.; y con el ENSO de 1690-91, el colegio de los jesuitas de Salta fue destruido durante la inundación y en ese 1691 otra fuente denunció hambrunas en las misiones del Iguazú [12]. En ese momento empezó un período de sequía, cuando el ganado que pastaba en Cuyo se desplazó hacia el este en busca de más pastos y aguadas. En 1692 se hablaba de sequías en las Pampas y entre 1692 y 1693 hubo rogativas en Córdoba para que lloviese [13].

Hacia 1694 y 1695 dos poderosos El Niño causaron lluvias intensas, nevazones en los Andes, crecidas de ríos e inundaciones. Lo mismo sucedió en 1697 cuando un ENSO de mediana intensidad provocó lluvias invernales y nevazones en la cordillera. En 1698, el mal tiempo sostenido obligó incluso a suspender reuniones del cabildo de Santiago pues la gente no salía de sus casas debido al lodo acumulado en las calles [14]. Por su parte, la serie para Buenos Aires muestra que entre 1698 y 1791 hubo predominio de años secos (un 67%) mientras que entre 1792 y 1821 el predominio de años secos bajó al 24% [15]. Nosotros podemos corroborar con los datos que hemos recabado hasta este momento que las primeras dos décadas del siglo XVIII fueron muy secas.

Con El Niño de 1701 se inauguró un período de repetidos ENSOs: en 1703 y 1704 hubo dos episodios; de 1707 a 1709, tres; y entre 1713 y 1718, cinco. Veamos los indicadores documentales. En 1704 el cabildo de San Luis en Cuyo se quejaba de una “gran seca en la campaña” [16]. En 1705 en el cabildo de Santiago de Chile pidió rogativas para que cesase la sequía [17]. El periodo de calor continuó y en 1714 es el cabildo de Córdoba quien denunció que la sequía llevaba alrededor de 14 años [18]. Para 1717, en Santiago se debió redistribuir el agua del Mapocho por su mermado caudal.

Los ENSO de 1723 y 1724 provocaron lluvias en Chile central e inundaciones. Siguiendo a El Niño medio de 1728 hubo crecidas en el Paraná y sequías en la cuenca del Plata. Desde 1730 a 1743 no hay gran actividad hasta 1744 en que llovió abundantemente y se inundó Santiago de Chile, pero hubo sequías en la vertiente argentina. Con el ENSO medio de 1751 se abrió un periodo muy peculiar en cuanto llueve en Chile y hay un prolongado periodo de sequías que extiende hasta 1760. Lo mismo ocurre durante los seis El Niño entre 1761 y 1769. De 1770 hasta 1781 una gran sequía afectó a ambas vertientes, sin disminuir incluso en los años con ENSO. Un nuevo patrón se ha establecido a principios de 1770. El último El Niño con influencia húmeda en la vertiente Pacífico ocurrió en 1783, lo cual no hizo cesar la sequía en la vertiente argentina.

Por el contrario: en la sucesión de fuertes ENSO entre 1790 a 1799 la aridez continúa en la vertiente argentina y se acentúa un periodo de sequía en la vertiente Pacífico que duró hasta 1803. A partir de 1804 hubo un remonte de la pluviosidad acompañada con crecidas de ríos en la cuenca del Plata y un retorno a lluvias normales, sin crecidas, en la vertiente chilena, al parecer, como respuesta al severo El Niño 1803-1804 [19].

RESULTADO

El pulso de las crisis climáticas

Lluvias torrenciales, nevazones en la cordillera, desbordes de ríos, inundaciones, alternadas con períodos de sequía o frío, puntualizan la secuencia de fluctuaciones. Durante esos años, la cronología de Quinn señala 73 fenómenos ENOS en el Pacífico suroriental: 34 durante el periodo frío del Mínimo de Maunder y 40 durante el remonte cálido del siglo XVIII. En los 113 años restantes las fuentes históricas no mencionan crisis asociadas con eventos ENOS, de manera que los años lluviosos/nevosos/ con crecidas o las sequías deben asociarse a controles climáticos diferentes, relacionados con la activación de la faja frontal de las latitudes medias.

Cuando se cotejan los 73 ENOS con variaciones climáticas de consideración, se constata que predominaron los inviernos lluviosos y las crecidas de ríos en ambas vertientes de los Andes. El mayor número de inviernos severos e inundaciones tuvo lugar en años clasificados como “normales”, simplemente porque ellos superan a los años ENOS en una proporción de 2,5 a 1. Por otra parte, durante los episodios ENOS tuvo lugar la menor cantidad de sequías en ambas vertientes debido a que aguas cálidas y alta humedad en la atmósfera sobre el océano predominan durante El Niño. Desglosando el periodo 1620 a 1810 en dos sub-periodos: 1620 a 1720 – cuyo núcleo es el frío Mínimo de Maunder – y otro de 1721 a 1810 - inicio del calentamiento global que anuncia el fin de la Pequeña Edad Glacial- se advierte diferencias notables.

La Tabla de contingencia (Tabla 1) muestra que en los años con ENOS entre 1618-1720 dada una condición El Niño en el Pacífico suroriental se dio una probabilidad de 40% de coincidencias entre los inviernos lluviosos, nevazones en la cordillera, crecidas de ríos e inundaciones en la vertiente del Pacífico y Argentina. Cuando hubo sequías en la vertiente Pacífico ellas fueron pareadas con sequías en la vertiente argentina en un 68 % de los casos. Los años llamados “normales” coinciden los porcentajes suben a 52,9 y 76,5 %, los cuales son muy altos, porque desafortunadamente si en esta categoría se cuentan también años El Niño coinciden en 95% en ambas vertiente. Este alto porcentaje se debe a que dentro de esta categoría se incluyen también aquellos años sin referencias a lluvias o sequías en las fuentes coloniales.

Tabla 1. Probabilidad condicional, años con El Niño, 1618-1720.

| | Vertiente Pacífico Lluvioso / crecidas / nevazones | Sequías | Normal o sin referencias |
|---|--|---------|--------------------------|
| Vertiente argentina Lluvioso / crecidas / nevazones | 40,0 | 33,0 | 0,0 |
| Sequías | 0,0 | 6,8 | 4,8 |
| Normal o sin referencias | 60,0 | 0,0 | 95,2 |

Tabla 2. Probabilidad condicional durante años sin El Niño, 1618-1720.

| | Vertiente Pacífico Lluvioso / crecidas nevazones | Sequías | Normal o sin referencias |
|---|--|---------|--------------------------|
| Vertiente argentina Lluvioso/crecidas nevazones | 27,3 | 0,0 | 9,5 |
| Sequías | 0,0 | 6,7 | 16,7 |
| Normal o sin referencias | 72,7 | 93,3 | 73,8 |

Tabla 3. Probabilidad condicional durante años con El Niño, 1721-1810.

| | Vertiente Pacífico Lluvioso / crecidas nevazones | Sequías | Normal o sin referencias |
|---|--|---------|--------------------------|
| Vertiente argentina Lluvioso/crecidas nevazones | 31,0 | 37,0 | 94,7 |
| Sequías | 2,3 | 63,0 | 5,3 |
| Normal o sin referencias | 46,0 | 0,0 | 0,0 |

Cuando se revisa la Tabla 2 de probabilidades de los años sin El Niño, la situación es distinta: los años lluviosos/nevosos/ y con crecidas coinciden en 27% en ambas vertientes y desciende a 6,7% en lo referente a sequías coincidentes. Las lluvias, nevazones y crecidas en la vertiente Pacífica aumentan a 72% durante estos años comparados con la vertiente argentina, debido a la falta de referencias en esta última. En general, durante el período 1618-1720 los años con el Pacífico cálido y masas de aire húmedo condicionaron lluvias, nevazones y crecidas en ambas vertientes, siendo más pronunciado en la vertiente Pacífico debido a la mayor cantidad de eventos catastróficos que mencionan las fuentes históricas.

Durante el período 1721 a 1810 hay un cambio notable (Tabla 3). Aun cuando el período es más corto que el anterior, el número de episodios ENSO es más alto: 40, reflejando el calentamiento global después de la Pequeña Edad Glacial. En los años con ENOS las lluvias, nevazones y crecidas coinciden en 37% en ambas vertientes. Mayor coincidencia se nota en las sequías (62%) debido a que durante este período hubo una cantidad comparativamente mayor de sequías en años del Niño que en el período 1618-1720, probablemente debido al remonte de las temperaturas. Los casos "normales" tienen altos porcentajes debido a la falta de referencias.

En los años sin ENOS desde 1721 a 1810 (Tabla 4) aumentan las probabilidades de coincidencia en pluviosidad en ambas vertientes y se mantienen también altas las probabilidades de sequías. Como en los casos anteriores, la frecuencia de años "normales" y sin referencias son los más altos. El test estadístico χ^2 que prueba la validez de las asociaciones establecidas en las tablas de contingencia, demuestra la interrelación entre los extremos climáticos enumerados en las tablas, ya que los valores χ^2 son superiores al umbral máximo de aceptabilidad - 9,48 - a un nivel de confiabilidad de 0,05. No podía ser de otra manera, ya que se asumía que las oscilaciones de Chile central y del oeste de Argentina dependían de circunstancias ENOS o no-ENOS en el Pacífico suroriental que influían la circulación atmosférica regional.

Tabla 4. Probabilidad condicional durante años sin El Niño, 1721-1810

| | Vertiente Pacífico Lluvioso/ crecida/nevazones | Sequías | Normal o sin referencia |
|---|--|---------|-------------------------|
| Vertiente argentina Lluvioso / crecidas / nevazones | 40 | 0 | 0 |
| Sequías | 0 | 90,7 | 36 |
| Normal o sin referencias | 60 | 9,3 | 64 |

DISCUSION

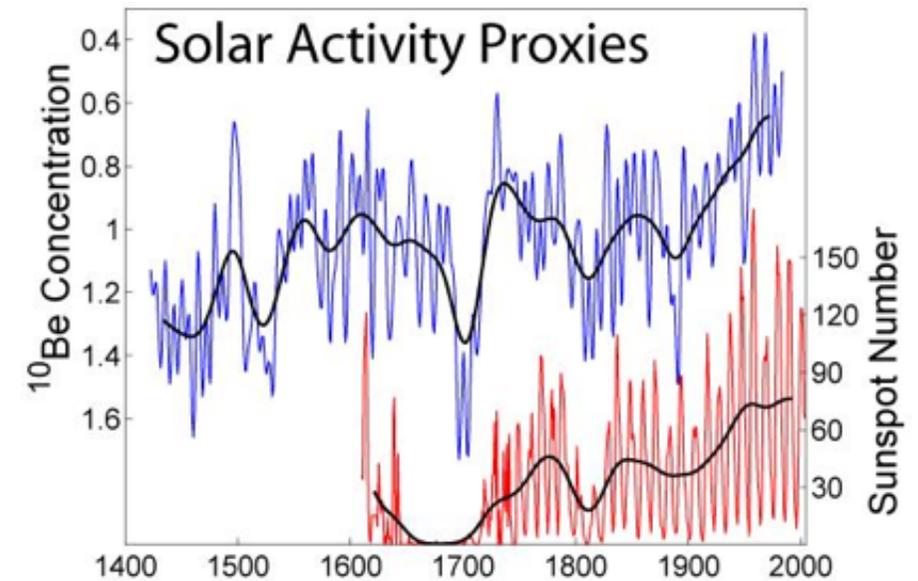
La inserción en el marco global

Las referencias a desastres climáticos coloniales entre 1618 y principios del siglo XIX revelan situaciones extremas en la franja templada de Sudamérica, las cuales tienen también su correlato en altibajos de la historia política y económica de los países que iban a ser Argentina y Chile. Las oscilaciones climáticas de este período – lluvias copiosas, inundaciones, secuencia de años fríos y húmedos, y sequías – corroboran la tumultuosa situación mundial durante la Pequeña Edad Glacial.

Hacia el nadir de esta época tiene lugar el descenso de la actividad solar, expresado en una baja de las manchas solares, durante el período 1645 a 1715 conocido como Mínimo de Maunder (Gráfico 2). En estos años se agudizan los episodios fríos y tempestuosos que han sido indicados en esta presentación.

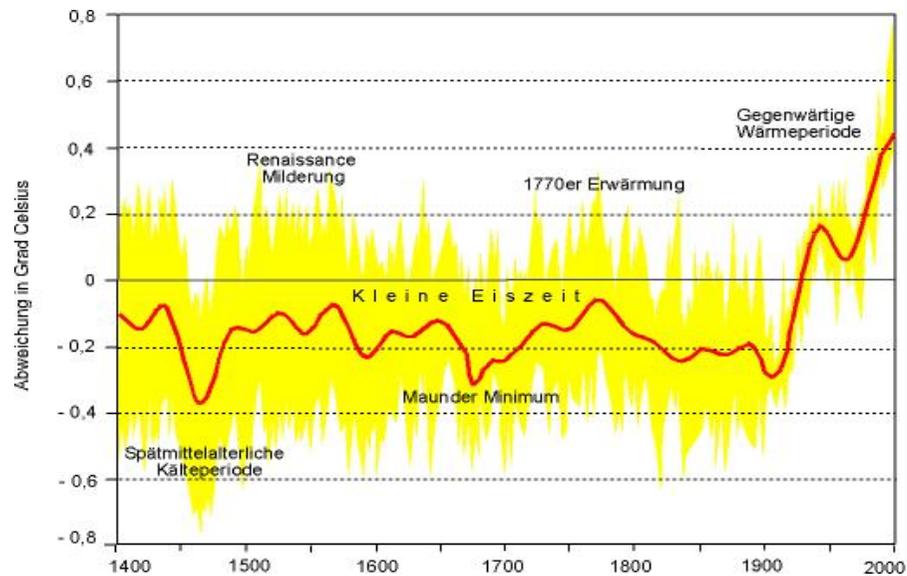
Esta situación tiende a aminorar después de 1720, con los primeros espasmos del fin de Pequeña Edad Glacial, expresados en un remonte de las temperaturas mundiales que culmina en la década de 1770 (Gráfico 3) y que fue detectado por Caviedes en 1991 en un estudio de los huracanes en el Caribe durante la época colonial [20]. En estos años se agudizan en el extremo sur de Sudamérica los episodios fríos y tempestuosos que han sido indicados en esta presentación.

Gráfico 2. Número de manchas solares (línea roja) y actividad solar recreada con varios indicadores o "proxies" (línea azul). Nótese la baja de manchas solares del Mínimo de Maunder.



Para el extremo sur de América del Sur, las crisis trajeron inconvenientes en la vida urbana y en el aprovisionamiento. En pleno período colonial, cuando comenzó la sequía en la Pampas y el ganado se corrió hacia zonas donde encontraba todavía más pastos y aguadas, aparecieron conflictos jurisdiccionales más agudos y competencias entre los cabildos. Asimismo, la pelea por los recursos ganaderos corrió la frontera hacia el sur, con los consiguientes conflictos con los nativos. Ya antes la evolución de la colonización tuvo momentos donde la máxima crisis climática tuvo su correlato en inesperadas consecuencias. El caso más notorio fue el pico frío de 1640 en la Araucanía. Agravadas las condiciones climáticas generales por la erupción del Villarrica, los araucanos suministraron tan poco alimento a los holandeses invasores que habían llegado a Valdivia que éstos finalmente abandonaron la zona, para no retornar nunca más. Lo hicieron en medio de deserciones de sus hombres por el frío y por el hambre. Otro hubiese sido el destino de esta parte del imperio español en condiciones climáticas más favorables, en decir, en condiciones de clima más benigno que también hubiese posibilitado la producción de alimentos y, con ello, la definitiva instalación de los holandeses en Chile [21].

Gráfico 3. Promedio (línea roja) y rango de las temperaturas globales (zona amarilla) de 1400 a 2000. Durante la Pequeña Edad Glacial ("Kleine Eiszeit") se aprecia el efecto enfriador del Mínimo de Maunder. Al fin de de la PEG se nota el alza de temperaturas del Remonte de 1770 ("Caviedes, "1770er Erwärmung").



Pero esto no ocurrió exclusivamente en el extremo sur de nuestro continente. La concomitancia de episodios climáticos extremos y disrupciones en la vida colonial tuvo lugar en otras partes. Las crisis provocadas por vicisitudes climáticas agravaron los conflictos sociales en el Caribe, por ejemplo. Allí, el fin del siglo XVIII estuvo marcado por la repetición de años con huracanes que impactaron en la provisión de alimentos, aumentando las tensiones previas al inicio de los procesos independentistas. Las crisis provocadas por estas vicisitudes climáticas agravaron los conflictos entre las autoridades coloniales y los súbditos criollos. Al mismo tiempo, la emergencia de los Trece Estados de Norte América auguró que serían los proveedores del área del Caribe, hecho que solidificó su futuro económico y condujo a su expansión política y militar en esa región de las Américas [22].

CONCLUSIONES

La historia climática de Argentina y Chile colonial contiene datos sobre catástrofes asociadas a fluctuaciones notables. El Niño-Oscilación Meridional (ENSO) es el principal determinante de episodios que, a su vez, impactaron en la vida política y económica local. Aunque ocasionalmente incompletas y fragmentarias, las fuentes delimitan un esquema con lluvias torrenciales, crecidas de ríos, inundaciones, sequías y años extremadamente fríos. En la vertiente Pacífico, los sucesos tienen concomitancias con eventos El Niño registrados para el norte del Perú. Lo mismo sucede, en menor grado, en la vertiente argentina de los Andes.

El análisis de los datos históricos muestra que la Pequeña Edad Glacial fue un período altamente congestionado. Asimismo, varios episodios extremos revelan los efectos del Mínimo de Maunder entre 1645 y 1715. En el período siguiente, los datos corroboran un remonte generalizado que culmina en la década de 1770. En síntesis, las referencias a desastres climáticos que nos dan las fuentes para el extremo sur de América del Sur durante el período colonial, en particular entre 1618 y principios del siglo XIX, revelan situaciones extremas en la franja templada de América del Sur. Los datos corroboran la tumultuosa situación mundial durante la Pequeña Edad Glacial. Hacia el nadir de esta época, las fuentes documentales también indican las consecuencias del descenso de la actividad solar del Mínimo de Maunder. Estos episodios, en su conjunto, son una clara advertencia de cómo las fluctuaciones severas repercutieron en la vida cotidiana de las sociedades. Hemos asociado a las fluctuaciones con episodios ENSO y dentro de otros impactos locales como fue la erupción del Villarrica en 1639 y el pico frío de 1640 en la Araucanía) para colocar tales eventos dentro de la realidad cotidiana colonial pues afectaron a la disponibilidad de los recursos esenciales para la vida al modificar o interrumpir tanto la producción como el comercio.

REFERENCIAS

- [1] M. Mann, Z. Zhang, S. Rutherford, R. Bradley, M. Hughes, D. Shindell, C. Ammann, G. Faluvegi y F. Ni, 2009. Global Signatures and Dynamical Origins of the Little Ice Age and Medieval Climate Anomaly. *Sci.* 326, 1256-1260; y K. Briffa y T. Osborn, 2002. Blowing Hot and Cold. *Sci.* 295, 227-228.
- [2] W. Quinn, V. Neal y S. Antunez de Mayolo. El Niño Occurrences over the Past Four and a Half Centuries. *Jour. Geo. Res.* 92 (C13), 14 - 449.
- [3] S. Fienberg, 2007. *The Analysis of Cross-classified Categorical Data.* Springer, New York; y M. Mann, R. Bradley, M. Hughes, 1999. Northern Hemisphere Temperatures During the Past Millennium: Inferences, Uncertainties, and Limitations. *Geo. Res. Let.* 26, 759-762.
- [4] E. Taulis, 1934. De la distribution de pluies au Chili. *Materiaux pour l'étude des calamités.* Soc. Géog. Genève. 1, 3-20; J. de Quiroga, 1979. Memorias de los sucesos de la guerra de Chile. Andrés Bello, Santiago de Chile, 338; y A. de Ramón, 2000. Santiago de Chile. *Sudamericana*, Santiago, 58-60.
- [5] R. Villalba, 1994. Tree-ring and glacial evidence for the medieval warm epoch and the little ice age in southern South America. *Clim. Chan.* 26, 183-197.
- [6] M. Gascón, 2007. *Naturaleza e Imperio. Araucanía, Patagonia, Pampas, 1598-1740.* Dunken, Buenos Aires.
- [7] L. Ortilieb, 1994. Las mayores precipitaciones históricas en Chile central y la cronología de los eventos ENOS en los siglos XVI-XIX, *Rev. Chil. Hist. Nat.* 67, 463-485.
- [8] M. Prieto, 2007. Enso signals in South America: rains and floods in the Parana River region during colonial times, *Clim. Chan.* 83, 39-54.
- [9] C. Caviedes, 2005. *El Niño macht Geschichte.* Primus Verlag, Darmstadt; y M. Prieto, R. Herrera y P. Dussel, 1998. Clima y disponibilidad hídrica en el sur de Bolivia y NO de Argentina entre 1560 y 1720. Los documentos españoles como fuente de datos ambientales, *Bam. Geo. Sch. Bd.* 15, 35-56.
- [10] C. Caviedes, 2001. *El Niño in History.* University Presses of Florida, Gainesville; y L. Ortilieb, 1994. Las mayores precipitaciones históricas en Chile central y la cronología de los eventos ENOS en los siglos XVI-XIX, *Rev. Chil. His. Nat.* 67, 463-485.
- [11] R. Villalba, 1994. Tree-ring and Glacial Evidence for the Medieval Warm Epoch and the Little Ice Age in Southern South America, *Clim. Chan.* 26, 183-197.
- [12] An Account of a Voyage from Spain to Paraquaria..., 1783, documento online en www.archives.org.
- [13] M. Gascón, 2007. *Naturaleza e Imperio. Araucanía, Patagonia, Pampas, 1598-1740.* Dunken, Buenos Aires.
- [14] B. Vicuña Mackena, 1877. *Ensayo históricos sobre el clima de Chile.* Imprenta del Mercurio, Valparaíso, 38.
- [15] J. Deschamps, O. Otero y E. Tonni, 2003. Cambio climático en la pampa bonaerense: las precipitaciones desde los siglos XVIII al XX. Doc. 109, Univ. Belgrano, www.ub.edu.ar/investigaciones/dt_nuevos/109_deschamps.pdf
- [16] Acta del 6 de septiembre, Actas del Cabildo de San Luis. Academia Nacional de la Historia, Buenos Aires, pdf online.
- [17] B. Vicuña Mackena, 1877. *Ensayo históricos sobre el clima de Chile.* Imprenta del Mercurio, Valparaíso, 52.
- [18] M. Gascón, 2007. *Naturaleza e Imperio. Araucanía, Patagonia, Pampas, 1598-1740.* Dunken, Buenos Aires.
- [19] B. Vicuña Mackena, 1877. *Ensayo históricos sobre el clima de Chile.* Imprenta del Mercurio, Valparaíso, 52-53.
- [20] C. Caviedes, 1991. Five hundred years of hurricanes in the Caribbean: Their relationship with global climatic variabilities. *Geojour.* 23, 301-310.
- [21] M. Gascón, 2008. The Defense of the Spanish Empire and the Agency of Nature. Araucanía, Patagonia and Pampas during the Seventeenth Century. *Res. Pap. Lat. Am. Inst. Univ. N. Mex.* 46, 1-39.
- [22] S. Johnson, 2005. El Niño, Environmental Crisis, and the Emergence of Alternative Markets in the Hispanic-Caribbean. *The Will. & Mary Quart.* 62, 40.

Determination of persistent organic pollutant, polybrominated diphenyl ethers, in sediment samples from Potrerillos reservoir, Mendoza, Argentina

ABSTRACT

The Stockholm Convention on Persistent Organic Pollutants (POPs) has gradually come to perceive brominated flame retardants (BFRs) as an international policy target. Despite the comprehensive international environmental legislation framework on POPs, there is scarce information about BFRs in Argentinean environment. This paper reports the monitoring program of four PBDE congeners (BDE-47, BDE-99, BDE-100 and BDE-153) in sediment samples of Potrerillos reservoir, Mendoza. For such purpose, a novel simple, fast and efficient environmentally friendly analytical technique was developed. It was based on dispersive liquid-liquid microextraction by using solidification of floating organic droplet technique combined with gas chromatography-mass spectrometry (DLLME-SFO-GC-MS/MS). The study and optimization of the DLLME-SFO procedure was carried out through a multivariate approach by using 2k-1 factorial and response-surface designs. The quantification of PBDEs by GC-MS/MS was accomplished by standards addition method. The limits of detection (LODs) were 0.03 ng g⁻¹, 0.04 ng g⁻¹, 0.05 ng g⁻¹ and 0.07 ng g⁻¹ for BDE-47, BDE-100, BDE-99 y BDE-153, respectively. The precision of DLLME-SFO-GC-MS/MS evaluated over five replicate, leading RSDs values <9.2 %. The calibration graph was linear with a correlation coefficient of 0.9957 within the concentration range: 0.08–1000 ng g⁻¹ for BDE-47, 0.10–1000 ng g⁻¹ for BDE-100, 0.11–1000 ng g⁻¹ BDE-99 and 0.2–1000 ng g⁻¹ for BDE-153. This is the first study that reports the presence of PBDEs in sediment from Potrerillos reservoir. The PBDEs concentration found in the analyzed sediment samples were lower than the concentration range reported in open literature. The determination of these pollutants in Argentine constitutes an important contribution in environmental matter.

Nerina Belén Lana (1),

Paula Berton (1),

Adrián G. Atencio (2),

José León (3),

Néstor Ciocco (4,5),

Jorgelina Altamirano (1,5)

1 Grupo de Investigación y Desarrollo en Química Analítica (QUIANID), (LISAMEN, CCT CONICET – Mendoza).

2 Laboratorio de Estratigrafía Glaciar y Geoquímica del Agua y la Nieve (LEGAN) - Instituto Antártico Argentino.

3 Departamento General de Irrigación.

4 Instituto Argentino de Investigación de las Zonas Áridas (IADIZA), CONICET.

5 Instituto de Ciencias Básicas, Universidad Nacional de Cuyo.

jaltamirano@mendoza-conicet.gov.ar

INTRODUCTION

BFRs are nowadays well known to be ubiquitous in the environment due to their widespread use in many industrial products required through fire prevention policies. Such compounds are regularly added to the polymeric of electronic boards, cloths, drapery, furniture foams, automotive interiors and many other electronic consumer products. More than 200,000 metric tons of BFRs are produced each year. As a consequence of diffuse leaching into the environment and their physical-chemical properties, they have been widespread reaching remote areas indicating persistence and bioaccumulation [1-4]. This led to BFRs inclusion in the Stockholm Convention in order to protect the human health and the environment from their risks [5]. Among BFRs, tetrabromobiphenyl A (TBBPA), hexabromocyclododecanes (HBCDs) and polybrominated diphenyl ethers (PBDEs) represent the highest production volumes. BFRs toxicity test studies have shown several adverse effects. For TBBPA thyroid hormone and estrogen agonist [6] as well as immunotoxic effect [7] has been evidenced. PBDEs toxicity exhibits similarities with polychlorinated biphenyls toxicity [8] as well as potential to lead to significant changes in thyroid homeostasis [9, 10], endocrine-related effects [11, 12] and moderate dioxin-like activities to human estrogen receptors [13, 14]. As for PBDEs, a great number of congeners are practically found in environmental and biological samples varying in both number and position of bromination. This fact, together with low concentrations of target analytes, makes the analytical determination of PBDEs quite challenging. Analytical methods for the determination of PBDEs have undergone rapid development in the last years and were in most cases based on established methods for chlorinated pollutants [15-17]. Highly selective and sensitive analytical techniques are required for

their identification and determination. Several GC/MS methods have been proposed based on EI or electron capture negative ionization (ECNI). However, limitations still exist for both the chromatographic separation and MS detection[18]. Additionally to the efficient analytical instrumentation it is useful to count on highly efficient preconcentration techniques specifically designed and developed for this instrumentation. In the past few years new extraction techniques, especially in the microextraction category, have gained interest. Efforts have been placed on the miniaturization of the L-L extraction procedure by greatly reducing the required organic solvent amount. In this way, Jeannot and Cantwell have developed a liquid-phase microextraction (LPME) technique, which is based on analyte partition between a few microliters of organic solvent (extraction phase) and the aqueous sample bulk [19]. Microextraction techniques are fast, simple, inexpensive, environmentally friendly and compatible with many analytical instruments[20]. Up to now, several different types of LPME have been developed including, single drop microextraction (SDME)[21], hollow fiber LPME[22], headspace LPME[20], dynamic LPME[23], dispersive liquid-liquid microextraction (DLLME) have been recently reported[22]. DLLME-SFO has been proposed within the last group of microextraction techniques. It combines DLLME with SFO technique for extraction and phase separation, respectively. DLLME combines a non-polar solvent (extraction solvent) with a polar solvent (disperser solvent) for proficiently disperse the extraction solvent into an aqueous bulk enhancing the extraction efficiency of the technique[24]. By using an extraction solvent with a melting point higher than room temperature, the extractant phase can be by solidified simply decreasing the working temperature. Thus, the extraction phase containing the analytes can be easily removed from the aqueous bulk for further analysis. In the present work a novel DLLME-SFO technique is proposed for leaching and preconcentration PBDEs from sediment samples for further analysis by GC-MS/MS.

By their very nature, microextraction methodologies require handling small volumes under strictly defined extraction and/or reaction conditions. Statistical analyses are available to evaluate which factors are significant in either mode of microextraction, and to determine what combination of levels produces the optimum results. The combination of microextraction and chemometrics significantly simplify sample processing, and also addresses problems related to improvement in detectability and method validation [25]. In the present work, the study and optimization of the DLLME-SFO procedure was carried out through a multivariate approach by using 2k-1 factorial and

response-surface designs [26]. Desirability function was used in order to optimize the multiple response criteria based on analytes' peak areas [26].

This is the first study that reports the presence of PBDEs in sediment samples from Potrerillos Dike. The waters reservoir does not receive inputs from industrial activities, therefore, PBDEs presence can be associated with the atmospheric transport and deposition processes, like PCBs [27].

EXPERIMENTAL

Reagents

The PBDEs standards were purchased from Accustandard (New Haven, CT, USA) and consisted of BDE-47, BDE-99, BDE-100 and BDE-153 in isooctane. The PBDEs standards were stored tightly closed in the dark at -14 °C. Stock solutions of PBDEs were prepared in methanol at concentration levels of 1 µg mL⁻¹. Further dilutions were prepared weekly in methanol and stored in brown bottles at -14 °C.

Methanol (MeOH), acetonitrile (ACN), acetone, 1-undecanol, 1-dodecanol and 1,10-dichlorodecane were purchased from Merck (Darmstadt, Germany). A 6.15 mol L⁻¹ sodium chloride aqueous solution was prepared by dissolving 3.6 g of NaCl (Merck) in 10 mL of ultrapure water. Ultrapure water (18 MΩ cm) was obtained from a Milli-Q water purification system (Millipore, Paris, France). All reagents were of analytical grade or above.

Table I - GC-MS-SIR parameters for PBDE determination

| Table I | | | |
|--|-----------------------------|-------------------------|-------------------------|
| GC-MS-SIR parameters for PBDE determination | | | |
| Analytes | t_R' (min) | Target ion (m/z) | Conf. ions (m/z) |
| BDE-47 | 9.9 | 486 | 324, 326, 328 |
| BDE-100 | 11.2 | 564 | 402,404,406 |
| BDE-99 | 11.6 | 564 | 402,404,406 |
| BDE-153 | 13.3 | 644 | 482, 484, 486 |

t_R': Retention time

logK_{ow}: octanol/water partition coefficient

GC-MS/MS analyses were carried out on a Varian 3900 gas chromatograph equipped with Varian Saturn 2000 ion trap mass detector (Varian, Walnut Creek, CA, USA). The system was operated by Saturn GC-MS WorkStation v6.4.1 software. The GC column used was VF-5ms (25m×0.25 mm, 0.25µm film thickness; Varian, Lake Forest, CA, USA). The temperature program was: 150 °C, held 1 min; rating 15 °C min⁻¹ to 250 °C; rating 10 °C min⁻¹ to a final temperature of 300 °C and held for 7 min. Helium (purity 99.999%) was used as a carrier gas a flow rate of 1.0 mL min⁻¹. The injector temperature was set at 250 °C and the injections were performed in the splitless mode. The mass spectrometer was operated in electron impact ionization mode at 70 eV. The trap, manifold and transfer line temperatures were set at 220 °C, 50 °C and 280 °C, respectively. Samples were analyzed in MS/MS mode. The peak identification was based on the base peak and the isotopic pattern of the PBDEs congeners. Specific ions were selected for each PBDE congener and the base ion was selected as a quantitative ion, while two other ions were used as qualifiers (Table I).

Experimental design and data analysis were carried out by using the Stat-Ease Design-Expert trial version 7.0.3 software.

SAMPLING AND SAMPLE PREPARATION

Lake sediments from Potrerillos reservoir, Mendoza were analyzed in this study. Sediments samples were collected by using a Van Veen grab sampler and 500 g were collected in each sampling point. The sediment samples were collected in 1 kg brown flask, transported at 4 °C to the laboratory and stored at -14 °C until their analysis. Prior analysis the sample were defrosted, dried at 40 °C further sieved by using a stainless steel 75 mesh sieve. The sediment samples used for method optimization were previously analyzed for the compounds of interest by using a reference Soxhlet extraction technique [28] and none of the studied analytes was detected. These samples were then spiked with the target PBDEs using methanolic solutions and homogenized as described by Salgado-Petinal et al. [29]. In order to make the sediment samples similar to real samples, the target analytes were allowed to spend 24 h in close contact with the organic matter present in sediment.

DLLME-SFO PROCEDURE

A 0.5 g sediment sample was placed into a 10 mL glass-centrifuge tube and 1.2 mL MeOH was added. The mixture was sonicated at 40 °C in an ultrasonic (US) bath for leaching the analytes. The leaching process was carried out in two cycles 9.2 min long and 1 min break in-between each cycle. The resulting slurry was centrifuged at 2000 rpm for 10 min. 0.5 mL aliquot of leaching solvent was transferred to a 10 mL empty tube and 0.1 mL MeOH (dispersive solvent), 0.022 g 1-dodecanol (extracted solvent) and 1 mL 6.15 mol L⁻¹ NaCl were added and mixed up. Afterwards 4.4 mL, 40 °C ultrapure water was added leading to a cloudy solution due to the dispersion of 1-dodecanol droplets into the aqueous bulk. The glass tube was kept into an ice bath for 10 min to solidify the organic solvent on the top of the solution. After transferring the floating organic drop to a conical vial, it was melted at room temperature and 1 µL of the extractant phase was injected into the gas chromatograph for analysis.

RESULTS AND DISCUSSION

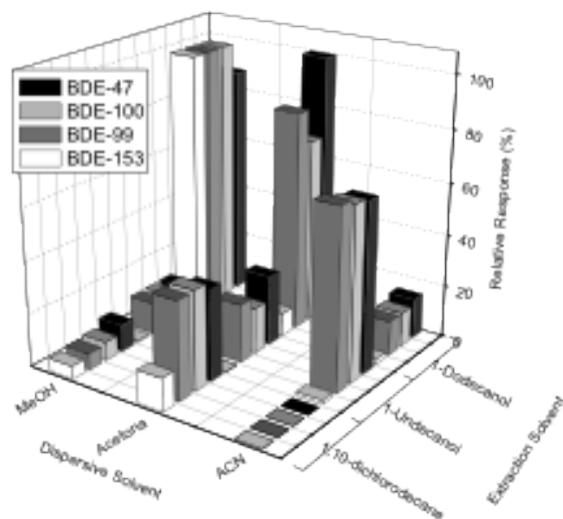
Table II - Physicochemical properties of the extraction solvent

| Solvent | Density (g cm ⁻³) | Water solubility (g L ⁻¹) | Melting point (°C) | Boiling point (°C) |
|---------------------|-------------------------------|---------------------------------------|-----------------------|---------------------|
| 1-undecanol | 0.83 ^[30] | 8 x 10 ⁻³ ^[31] | 13-15 ^[30] | 243 ^[30] |
| 1-dodecanol | 0.83 ^[30] | 4 x 10 ⁻³ ^[31] | 17-18 ^[30] | 249 ^[30] |
| 1,10-dichlorodecane | 0.99 ^[32] | insoluble ^[32] | 14-16 ^[32] | 140 ^[32] |

Several requirements are considered for choosing the disperser and extraction solvents. Disperser solvents in DLLME should be miscible with water and the extraction solvent; however, the last. On the other hand, the extraction solvent should not be miscible with water. Moreover, the extraction solvent should also have a melting point higher to the room temperature (≤ 10 -30 °C) in order to succeed the SFO requirements [24, 30]. Additionally, the extraction phase must be compatible with the instrumentation to be used for further analysis. Taking into account these considerations, MeOH, ACN and acetone were assayed as disperser solvents and 1-undecanol, 1-dodecanol and 1,10-dichlorodecane as extraction solvent.

Some physicochemical properties of the proposed extraction solvents are shown in Table II. The relative responses of the studied PBDEs using different dispersive and extraction solvents are shown in figure 1. The performance of these solvents was studied by adding 0.75 mL of dispersive solvents and 20 μ l of extraction solvent to a 0.5 g of sediment containing 60 ng g⁻¹ of each PBDE according with the procedure described above. The relative responses of PBDEs using MeOH and 1-dodecanol were higher than the obtained with the others ones. In this case a rapid drop formation was obtained and facilitates handling and extraction of the solution. However, when employing other dispersive or extraction solvents, a decrease of analytical signal for the PBDEs congeners was observed. This could be due to a diffuse formation of the drop, and densities similar to the water. Therefore, MeOH and 1-dodecanol were selected for further studies.

Figure 1. Relative response of the studied PBDEs using different dispersive and extraction solvents



EXPERIMENTAL DESIGN

The influencing study of the variables that govern the leaching and microextraction process over the analytical responses was optimized separately for each technique. Fractional factorial experimental design (2^k-1) was used to evaluate the preliminary significance of the variables that govern each technique, as well as their interactions. Significant variables were indicated by the Pareto chart, which was obtained after multiple linear regression and analysis of variance analysis [26].

Once established the variables that influence the leaching and microextraction efficiencies, an optimization procedure was carried out in order to achieve the best extraction yield for the studied PBDE. In this sense, response surface statistical technique was used to determine the interaction of possible influencing parameters on PBDE extraction by assaying a limited number of planned

experiments [33]. For each technique, the experiments were defined by using reduce central composite design (CCD). The ranges of the selected variables were carefully chosen based on prior knowledge about the system under study. All experiments were performed in random order to minimize the effects of uncontrolled factors that may introduce a bias on the measurements. Finally, a multiple response criteria using the desirability function was successfully used in order to optimize the both procedures. The desirability is a function of more than one response. The statistical method proposes a desirability function which includes researcher's priorities and desires on building the optimization procedure. The procedure creates a function for each individual response, and finally obtains a global function D that should be maximized choosing the best conditions of the designed variables.

Optimization of leaching technique

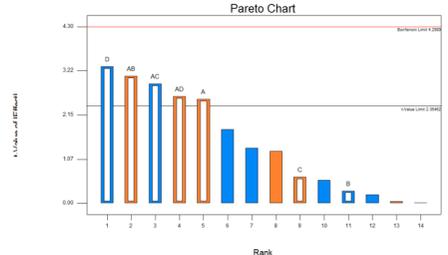
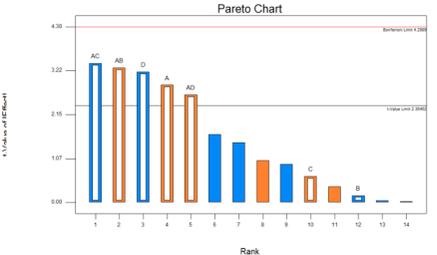
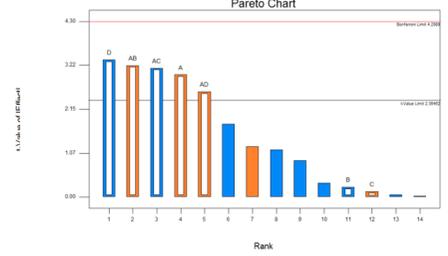
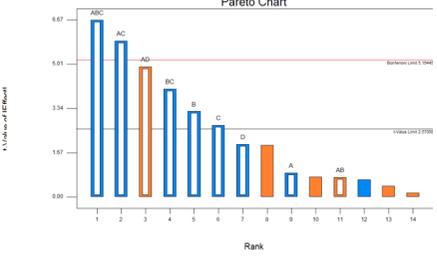
The analyzed factors considered for the fractional factorial experimental design (2^k-1) were: US radiation time and mode, temperature and volume of extraction solvent. Table III presents their selected levels. Series of sample solutions were studied by using 0.5 g of sediment containing 20 ng g⁻¹ of each PBDE and 20 mg of 1-dodecanol. On the other hand, the microextraction procedure conditions were as follows: (A) Dispersant solvent volume: 0.10 mL; (B) Extracting solvent mass of: 22.09 mg; (C) 6.15 mol L⁻¹ NaCl: 1 mL volume; (D) Dispersant bulk volume: 4.40 mL. Peak area and shape were evaluated in each case.

From the variance analysis of the experimental data (peak area) all the variables were shown to be significant ($p < 0.1$), with positive and negative effects (Table III) [34].

The optimization of US radiation time is important to efficiently leach the PBDEs from the sediment matrix. The US radiation can be applied in continuous and or multiple step modes, respectively. Ultrasonic energy causes an effect known as cavitation, which generates numerous tiny bubbles in liquid media and mechanical erosion of solids, including particle rupture. Sonication provides an efficient contact between the solid and the extractant solvent, usually resulting in a good recovery of the analyte [36]. As the US radiation time increases, the collapsing cavitation bubbles help to disrupt the saturated boundary layer surrounding the particles, bringing fresh solvent to the surface [37]. Additionally, it has been observed that by applying several sonication cycles, the leaching efficiency can be improved depending on the analytes and the type of sample matrix [38].

Table III. Screening phase during solvent extraction technique optimization for PBDE determination

| Factors and their levels investigated | | |
|---------------------------------------|---------------------|---------------|
| Factor | Levels ^a | |
| | -1 | +1 |
| (A) US radiation time (min) | 15 | 30 |
| (B) US extraction mode | Continuo | Multiple step |
| (C) Leaching temperature (°C) | 20 | 40 |
| (D) Leaching solvent volume (mL) | 0.80 | 1.5 |

| Pareto Charts (Rank vs. t-Value of Effect) | |
|--|---|
| PBDE 47 | PBDE 99 |
|  |  |
| PBDE 100 | PBDE 153 |
|  |  |

^a -1 and +1: Extreme levels [35]

The US radiation time in the continuous mode was defined as the period over which sonication is continuously applied; in this first stage time variable was evaluated at 15 and 30 minute. On the other hand, multiple step cycles, 5 and 10 min long for 3 times with 1 min break in-between each cycle, were assayed. In order to make possible a comparison with a continuous mode, the total time of US irradiation was 15 and 30 min respectively. Additionally to the US radiation time, leaching temperature can affect the extraction efficiency. It affects the solubility of the analytes in the extracted solvent, the viscosity of the medium, and the vapor pressure of the leaching solvent.

Thus the cavitations phenomenon and the mass-transfer process efficiency are affected. To consider this variable, two different temperatures at 20 °C and 40 °C were evaluated. 0.8 mL and 1.5 mL of MeOH were assayed for leaching the target analytes from the sediment matrix. The solvent used in the leaching step was further used as dispersive solvent in DLLME-SFO technique. A central composite design was carried out including 30 experiments. The variables considered were temperature, mode and time US radiation as well as volume of leaching solvent (Table IV).

Outliers were removed by analyzing the difference between fitted values test (DFFITS) [26]. This test measures the influence of each point on the predicted value, computing a standardized value, which can be interpreted as the number of standard deviation units owed to experimental data exerts disproportionate influence on the model. The model coefficients were calculated by backward multiple regression, and validated by the analysis of variance [34]. As can be seen in Table IV, quadratic models are those which better explain the behavior of the relative response of the analytes under the effect of the studied factors. Table IV also shows the statistical parameters corresponding to the fitting for resolution. As can be observed, models are significant ($p < 0.05$) and the lack of fit is not significant ($p > 0.05$).

As can be seen in Table IV, the p-values showed that at 95% confidence level, the solvent volume affects the extraction efficiency the target PBDEs. Temperature and leaching time were not significant; however their interaction affects the leaching efficiency of PBDE 100, 99 and 153. The squared of the temperature also affects the leaching efficiency of the studied PBDEs, except PBDE 47; which is affected by the squared of US radiation time. It is important to point out that even though the effect of multiple US radiation steps was significant against continue mode (shown during fractional factorial design), the number of steps was not significant.

The responses of the four PBDEs (peak area) were simultaneously optimized by using the desirability function. The criterion was followed to maximize the individual responses, all with the same importance. Under the mentioned optimization criteria, the experimental conditions corresponding to one of the maximum in the desirability function ($D = 0.762$) were: US radiation time 18'45" min, 1 stop, leaching temperature 40 °C and leaching solvent volume 1.20 mL. The values suggested through the optimization procedure were experimentally corroborated.

Table IV. Central Composite Design during solvent extraction technique optimization for PBDE determination

| Factors and range investigated | | | | |
|--|------------------------------|--------------------|--------------------|---------------|
| Factor | Levels ^a | | | |
| | Low | | High | |
| (A) US radiation time (min) | 18.75 | | 36.41 | |
| (B) US radiation steps | 2 | | 4 | |
| (C) Leaching temperature (°C) | 27.5 | | 42.5 | |
| (D) Leaching solvent volume (mL) | 1.22 | | 2.08 | |
| Statistical values obtained when applying ANOVA of lack of fit and regression of the selected models | | | | |
| Model | Response (peak area) | | | |
| | PBDE 47 | PBDE 100 | PBDE 99 | PBDE 153 |
| | Quadratic | Quadratic | Quadratic | Quadratic |
| | <i>p</i> -value ^a | | | |
| Model | 0.0001 | 0.0002 | 0.0002 | 0.0005 |
| Lack of fit | 0.5606 | 0.7877 | 0.8963 | 0.9710 |
| A | 0.0654 | 0.2226 | 0.3185 | 0.2031 |
| B | 0.1255 | 0.1912 | 0.3900 | 0.2389 |
| C | 0.3155 | 0.9553 | 0.9067 | 0.7444 |
| D | < 0.0001 | < 0.0001 | < 0.0001 | 0.0010 |
| AB | 0.9368 | 0.9790 | 0.9317 | 0.4678 |
| AC | 0.4999 | 0.0270 | 0.0144 | 0.0478 |
| AD | 0.1294 | 0.2859 | 0.2681 | 0.4407 |
| BC | 0.2252 | 0.9665 | 0.5364 | 0.7385 |
| BD | 0.7342 | 0.5036 | 0.6058 | 0.9805 |
| CD | 0.8552 | 0.5938 | 0.7949 | 0.5870 |
| A ² | 0.0315 | 0.1880 | 0.2576 | 0.1252 |
| B ² | 0.7960 | 0.8473 | 0.7843 | 0.9308 |
| C ² | 0.2268 | 0.0359 | 0.0319 | 0.0012 |
| D ² | 0.1116 | 0.1015 | 0.2202 | 0.9577 |

^a Considered significant when $p < 0.05$.

Optimization of DLLME-SFO technique

In the screening design of the DLLME-SFO the considered variables includes salting out effect, additional dispersive solvent volume, dispersive bulk volume and extraction solvent volume. These variables and their levels are presented in Table V. As it is well known, the addition of salt to the extraction medium can affect extraction efficiency of the liquid-liquid microextraction, when non polar analytes are extracted [30].

On the other hand, as the salt concentration of the medium increases, the viscosity increase; diminishing thus, the efficiency of the mass-transfer process and consequently, the extraction efficiency of the technique [39, 40]. The salting out study was carried out by considering the adding 1 mL 6.15 mol L⁻¹ NaCl to the dispersive medium and none addition. Additional dispersive solvent affects the solubility of the extraction solvent and PBDEs in the dispersive medium. As the dispersive solvent volume increase, the resulting extraction phase diminishes due to an increment of the extraction solvent solubility [24]. On the other hand, the increment of the dispersive solvent volume enhance the PBDEs' solubility in water, thus extraction efficiency decreases. The optimal volume of solvent depends on the type and mass of matrix used and the target compound analysed [36]. Therefore, it was important to determine the optimum volume of MeOH that leads to the maximum extraction efficiency of the microextraction technique. In this sense, two situations were considered for the microextraction stage: additional 0.5 mL and 0 mL MeOH. In the same way, the dispersive bulk volume can affect the solubility of the solvents, PBDEs and matrix concomitants. Thus, the extraction efficiency as well as the selectivity of the microextraction technique can be affected, and thus, the analytical response. The studied volumes were 2 mL and 5 mL 40 °C ultrapure water. To examine the effect of extraction solvent mass, it was considered the minimum mass of solvent that led to the maximum extraction efficiency and signal enhancement factor (EF), considering practical handling aspects of the floating extracting phase [30]. In this sense, 20 mg and 50 mg 1-dodecanol were subjected DLLME-SFO procedure described above.

As can be seen in Table V from the variance analysis, the extraction solvent mass was the most significant factor ($p < 0.1$) on the analytical response of the studied PBDEs, followed by interactions between dispersant bulk volume and extraction solvent mass; salt addition and dispersant bulk volume; and salt addition and extraction solvent volume. Salt addition showed a positive significant effect on DLLME-SFO.

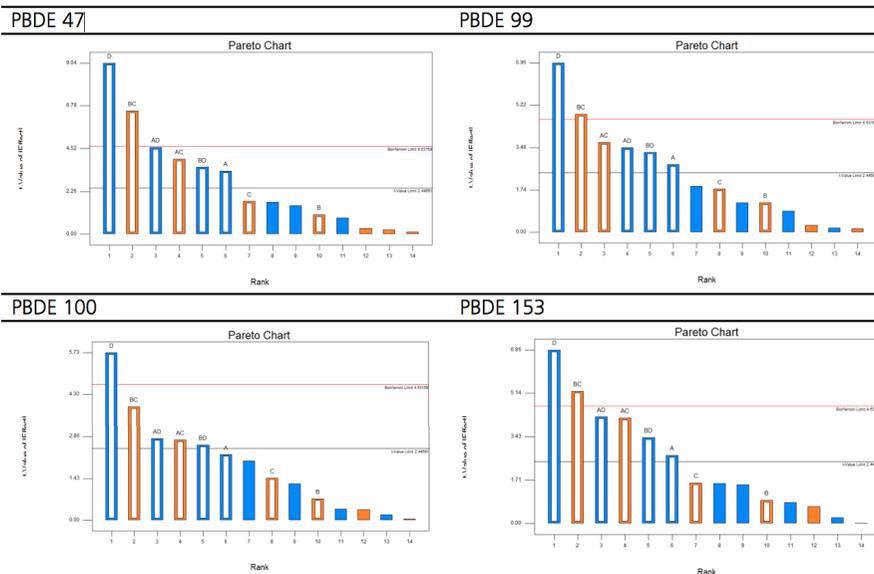
A central composite design was carried out included 20 experiments. Combinations of the (selected) independent variables and the selected ranges are shown in Table VI. The solvent extraction conditions were fixed at: (A) Leaching solvent volume: 1.20 mL; (B) Leaching temperature 40 °C in a US bath; and (C) US radiation steps: two cycles 9, 2 min long and 1 min break in-between each cycle. Once outliers were removed by analysing the difference between fitted values test (DFFITS), the model coefficients were calculated by backward multiple regression [1], and validated by the analysis of variance [34].

As can be seen in Table VI, 2-factor interactions (2FI) and linear models are those which better explain ($p < 0.05$) the behavior of the relative response of the analytes under the effect of the studied factors. Table VI also shows the statistical parameters corresponding to the fitting for resolution. As can be observed the lack of fit is not significant ($p > 0.05$).

Table V. Screening phase during the DLLME-SFO optimization for PBDE determination Factors and their levels investigated

| Factors and their levels investigated | | |
|--|---------------------|-----|
| Factor | Levels ^a | |
| | -1 | +1 |
| (A) Salt addition (mL) | 0 | 1 |
| (B) Additional dispersive solvent (mL) | 0 | 0.5 |
| (C) Dispersive bulk (mL) | 2 | 5 |
| (D) Extracting Solvent (mg) | 20 | 50 |

Pareto Charts obtained during the screening in the development of DLLME-SFO optimization for PBDE determination



^a -1 and +1: Extreme levels [35]

Table VI. Central Composite Design during solvent extraction technique optimization for PBDE determination

| Factors and range investigated | | | | |
|--|------|------|--|--|
| (A) Additional dispersive solvent (mL) | 0.10 | 0.40 | | |
| (B) Extracting Solvent (mg) | 22.1 | 43.0 | | |
| (C) Dispersive bulk (mL) | 2.60 | 4.40 | | |

| Statistical values obtained when applying ANOVA of lack of fit and regression of the selected models | | | | |
|--|----------------------------|---------------|-----------------|-----------------|
| Model | Response (peak area) | | | |
| | PBDE 47 | PBDE 100 | PBDE 99 | PBDE 153 |
| | 2F ^b | Linear | 2F ^b | 2F ^b |
| | p-value^a | | | |
| Model | < 0.0001 | 0.0005 | 0.0013 | 0.0097 |
| Lack of fit | 0.7782 | 0.8404 | 0.7562 | 0.1824 |
| A | 0.2052 | 0.2364 | 0.1192 | 0.0286 |
| B | < 0.0001 | 0.0007 | 0.0008 | 0.0180 |
| C | 0.3934 | 0.0088 | 0.0823 | 0.9859 |
| AB | 0.0044 | - | 0.0173 | 0.0774 |
| AC | 0.6716 | - | 0.7665 | 0.0145 |
| BC | 0.5519 | - | 0.2820 | 0.9229 |

^a Considered significant when $p < 0.05$.

^b 2FI: 2-factor interactions

As expected, the p -values showed that at 95% confidence level, the extracting solvent mass that affects the analytical response of the studied PBDEs (Table VI). Leaching temperature only affects the extraction of PBDE 153. However, the interaction of this factor with the extraction solvent mass affects the analytical response of PBDE 47 and 99. Moreover, the interaction between leaching temperature and dispersant bulk volume affects the analytical response of PBDE 153. The dispersant bulk volume directly affects the analytical response of PBDE 100 (as shown in Table VI).

The responses of the four PBDEs (peak area) were simultaneously optimized by using the desirability function. The criteria was followed to maximize the individual responses (peak area), all with the same importance. Under the mentioned optimization criteria, the experimental conditions corresponding to one of the maximum in the desirability function ($D = 0.756$) were: (A) Dispersant solvent volume: 0.10 mL; (B) Extracting solvent mass: 22.09 mg; (C) 6.15 mol L⁻¹ NaCl volume: 1 mL; (D) Dispersant bulk volume: 4.40 mL. The values suggested through the optimization procedure were experimentally corroborated.

QUALITY ASSURANCE/QUALITY CONTROL

The quantification of PBDEs by GC-MS/MS was accomplished by standards addition method. The limits of detection (LODs), calculated based on three times standard deviation of the background signal (3σ) were 0.03 ng g⁻¹, 0.04 ng g⁻¹, 0.05 ng g⁻¹ and 0.07 ng g⁻¹ for BDE-47, BDE-100, BDE-99 y BDE-153, respectively. The precision of DLLME-SFO-GC-MS/MS evaluated over five replicate, leading RSDs values <9.2 %. The calibration graph was linear with a correlation coefficient of 0.9957 within the concentration range: 0.08–1000 ng g⁻¹ for BDE-47, 0.10–1000 ng g⁻¹ for BDE-100, 0.11–1000 ng g⁻¹ BDE-99 and 0.2–1000 ng g⁻¹ for BDE-153

APPLICATION TO REAL SAMPLES

DLLME-SFO–GC-MS/MS was applied for the determination of BDE-47, BDE-100, BDE-99 and BDE-153 in sediment samples from Potrerillos Reservoir. This is a water reservoir located in the north oases of Mendoza province (32°57' 58.23" S - 69°10'12.71" W). It is a regulatory dike of the Mendoza River, which is use for irrigation, population and factory consumer.

Monitoring program was made in June 2010. A total of 7 sampling sites were established and triplicate sediment samples were collected. The details of the sampling locations are given in figure 2. Sediments samples were collected according with the procedure descript above.

The same samples were then analyzed by standard addition methods according with procedure described in section 2.4. In all case the concentrations found were similar to concentration added. In the first approach 3 samples were analyzed by DLLME-SFO-GC-MS/MS. The PBDEs concentration in the samples was below the detection limit of the proposed methodology.

Based on the reported results, detailed studies including seasonal variations and dynamic pollution mechanisms will be made in this environment.

CONCLUSIONS

DLLME-SFO constitutes a simple and efficient analytical technique for extraction and preconcentration of PBDEs from sediment samples and further analysis by GC-MS/MS. DLLME-SFO led to an increment of methodology sensitivity.

Under optimized working conditions, LODs were in the order of nanogram per gram suitable for real world applications with an acceptable precision. DLLME-SFO-GC-MS/MS showed comparable LODs with Soxhlet-GC-MS/MS method. However, the proposed methodology requires minimum sample manipulation, organic solvents consumption and increases sample throughput of the analysis. The method performs well achieving good linearity, precision and low detection limits. The robustness of the proposed methodology was proved when the recovery study was carried out over the real samples. The proposed DLLME-SFO-GC-MS/MS methodology can be successfully applied in routine analysis to determine trace levels of PBDEs in sediment samples.

Additionally, this study contributes the report of the sediment sample of the main dike of north oases of Mendoza province, which constitutes an important advance in environmental matter since it allows knowing the current condition of our ecosystems. Detailed studies that consider seasonal variations and the factors that affect the dynamics pollution are recommended in order to develop water quality monitoring tool in the region that will guide and support sound management decisions.

REFERENCES

- [1] Boon J.P., Lewis W.E., Tjoen-A-Choy M.R., Allchin C.R., Law R.J., De Boer J., Ten Hallers-Tjabbes C.C., Zegers B.N. 2002. Levels of polybrominated diphenyl ether (PBDE) flame retardants in animals representing different trophic levels of the North Sea food web. *Environmental Science and Technology*; 36: 4025-32.
- [2] Covaci A., Gheorghe A., Hulea O., Schepens P. 2006. Levels and distribution of organochlorine pesticides, polychlorinated biphenyls and polybrominated diphenyl ethers in sediments and biota from the Danube Delta, Romania. *Environmental Pollution*; 140: 136-49.
- [3] Oberg K., Warman K., Oberg T. 2002. Distribution and levels of brominated flame retardants in sewage sludge. *Chemosphere*; 48: 805-9.
- [4] Schecter A., Pavuk M., Pa?pke O., Ryan J.J., Birnbaum L., Rosen R. 2003. Polybrominated diphenyl ethers (PBDEs) in U.S. mothers' milk. *Environmental Health Perspectives*; 111: 1723-9.
- [5] Kemmlein S., Herzke D., Law R.J. 2009. Brominated flame retardants in the European chemicals policy of REACH-Regulation and determination in materials. *Journal of Chromatography A*; 1216: 320-33.

- [6] Kitamura S., Shinohara S., Iwase E., Sugihara K., Uramaru N., Shigematsu H., Fujimoto N., Ohta S. 2008. Affinity for thyroid hormone and estrogen receptors of hydroxylated polybrominated diphenyl ethers. *Journal of Health Science*; 54: 607-14.
- [7] Mariussen E., Fonnum F. 2003. The effect of brominated flame retardants on neurotransmitter uptake into rat brain synaptosomes and vesicles. *Neurochemistry International*; 43: 533-42.
- [8] Eriksson P., Jakobsson E., Fredriksson A. 1998. *Organohalogen Compounds*; 35: 375-7.
- [9] Meerts I.A.T.M., Van Zanden J.J., Lujiks E.A.C., Van Leeuwen-Bol I., Marsh G., Jakobsson E., Bergman A., Brouwer A. 2000. Potent competitive interactions of some brominated flame retardants and related compounds with human transthyretin in Vitro. *Toxicol. Sci.*; 56: 95-104.
- [10] Hallgren S., Sinjari T., Hakansson H., Darnerud P. 2001. Effects of polybrominated diphenyl ethers (PBDEs) and polychlorinated biphenyls (PCBs) on thyroid hormone and vitamin A levels in rats and mice. *Archives of Toxicology*; 75: 200-8.
- [11] Chen G., Konstantinov A.D., Chittim B.G., Joyce E.M., Bols N.C., Bunce N.J. 2001. Synthesis of polybrominated diphenyl ethers and their capacity to induce CYP1A by the Ah receptor mediated pathway. *Environmental Science and Technology*; 35: 3749-56.
- [12] Ceccatelli R., Faass O., Schlumpf M., Lichtensteiger W. 2006. Gene expression and estrogen sensitivity in rat uterus after developmental exposure to the polybrominated diphenylether PBDE 99 and PCB. *Toxicology*; 220: 104-16.
- [13] Meerts I.A.T.M., Letcher R.J., Hoving S., Marsh G., Bergman A., Lemmen J.G., Van Der Burg B., Brouwer A. 2001. In vitro estrogenicity of polybrominated diphenyl ethers, hydroxylated PBDEs, and polybrominated bisphenol A compounds. *Environmental Health Perspectives*; 109: 399-407.
- [14] Behnisch P.A., Hosoe K., Sakai S.I. 2003. Brominated dioxin-like compounds: In vitro assessment in comparison to classical dioxin-like compounds and other polyaromatic compounds. *Environment International*; 29: 861-77.
- [15] Covaci A., Voorspoels S., de Boer J. 2003. Determination of brominated flame retardants, with emphasis on polybrominated diphenyl ethers (PBDEs) in environmental and human samples - A review. *Environ. Int.*; 29: 735-56.
- [16] Korytár P., Covaci A., Leonards P.E.G., de Boer J., Brinkman U.A.T. 2005. Comprehensive two-dimensional gas chromatography of polybrominated diphenyl ethers. *J. Chromatogr. A*; 1100: 200-7.
- [17] Rahman F., Langford K.H., Scrimshaw M.D., Lester J.N. 2001. Polybrominated diphenyl ether (PBDE) flame retardants. *Sci. Total Environ.*; 275: 1-17.
- [18] Stapleton H.M. 2006. Instrumental methods and challenges in quantifying polybrominated diphenyl ethers in environmental extracts: A review. *Analytical and Bioanalytical Chemistry*; 386: 807-17.
- [19] Jeannot M.A., Cantwell F.F. 1996. Solvent microextraction into a single drop. *Analytical Chemistry*; 68: 2236-40.
- [20] Tankeviciute A., Kazlauskas R., Vickackaite V. 2001. Headspace extraction of alcohols into a single drop. *Analyst*; 126: 1674-7.
- [21] Ahmadi F., Assadi Y., Milani Hosseini M.R., Rezaee M. 2006. Determination of organophosphorus pesticides in water samples by single drop microextraction and gas chromatography-flame photometric detector. *Journal of Chromatography A*; 1101: 307-12.
- [22] Rezaee M., Assadi Y., Milani Hosseini M.R., Aghaee E., Ahmadi F., Berijani S. 2006. Determination of organic compounds in water using dispersive liquid-liquid microextraction. *Journal of Chromatography A*; 1116: 1-9.
- [23] Wu J., Ee K.H., Lee H.K. 2005. Automated dynamic liquid-liquid-liquid microextraction followed by high-performance liquid chromatography-ultraviolet detection for the determination of phenoxy acid herbicides in environmental waters. *Journal of Chromatography A*; 1082: 121-7.
- [24] Fontana A.R., Lana N.B., Martinez L.D., Altamirano J.C. 2010. Ultrasound-assisted leaching-dispersive solid-phase extraction followed by liquid-liquid microextraction for the determination of polybrominated diphenyl ethers in sediment samples by gas chromatography-tandem mass spectrometry. *Talanta*; 82: 359-66.
- [25] Stalikas C., Fiamegos Y., Sakkas V., Albanis T. 2009. Developments on chemometric approaches to optimize and evaluate microextraction. *J Chromatogr A*; 1216: 175-89.
- [26] Montgomery D.C. 2001. *Design and analysis of experiments* John Wiley & Sons, Inc. New York.
- [27] Quiroz R., Popp P., Barra R. 2008. Analysis of PCB levels in snow from the Aconcagua Mountain (Southern Andes) using the stir bar sorptive extraction. *Environmental Chemistry Letters*: 1-6.
- [28] Mai B., Chen S., Luo X., Chen L., Yang Q., Sheng G., Peng P., Fu J., Zeng E.Y. 2005. Distribution of polybrominated diphenyl ethers in sediments of the Pearl River Delta and adjacent South China Sea. *Environmental Science and Technology*; 39: 3521-7.
- [29] 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. *Journal of Chromatography A*; 1124: 139-47.

- [30] Leong M.I., Huang S.D. 2008. Dispersive liquid-liquid microextraction method based on solidification of floating organic drop combined with gas chromatography with electron-capture or mass spectrometry detection. *J Chromatogr A*; 1211: 8-12.
- [31] Saleh A., Yamini Y., Faraji M., Rezaee M., Ghambarian M. 2009. Ultrasound-assisted emulsification microextraction method based on applying low density organic solvents followed by gas chromatography analysis for the determination of polycyclic aromatic hydrocarbons in water samples. *J Chromatogr A*; 1216: 6673-9.
- [32] <http://www.merck-chemicals.com/> Fecha de consulta:
- [33] Cantón R.F., Peijnenburg A.A.C.M., Hoogenboom R.L.A.P., Piersma A.H., van der Ven L.T.M., van den Berg M., Heneweer M. 2008. Subacute effects of hexabromocyclo-dodecane (HBCD) on hepatic gene expression profiles in rats. *Toxicology and Applied Pharmacology*; 231: 267-72.
- [34] Ortega J.A., Ferrís J., Cánovas A., Claudio-Morales L., Berbel O., Lupiñez P. 2005. Environmental neurotoxins (III). Organochlorines, organobromines and bisphenol A: Adverse effects on the fetal and postnatal nervous systems. *Neurotóxicos medioambientales (III)*; 63: 429-36.
- [35] Dejaegher B., Vander Heyden Y. 2009. The use of experimental design in separation science. *Acta Chromatographica*; 21: 161-201.
- [36] Tadeo J.L., Sánchez-Brunete C., Albero B., García-Valcárcel A.I. 2010. Application of ultrasound-assisted extraction to the determination of contaminants in food and soil samples. *J Chromatogr A*; 1217: 2415-40.
- [37] Li H., Zhang Z., Tang S., Li Y., Zhang Y. 2008. Ultrasonically assisted acid extraction of manganese from slag. *Ultrasonics Sonochemistry*; 15: 339-43.
- [38] Luque de Castro M.D., Priego-Capote F. 2007. Lesser known ultrasound-assisted heterogeneous sample-preparation procedures. *TrAC Trends in Analytical Chemistry*; 26: 154-62.
- [39] Regueiro J., Llompart M., Garcia-Jares C., Garcia-Monteagudo J.C., Cela R. 2008. Ultrasound-assisted emulsification-microextraction of emergent contaminants and pesticides in environmental waters. *J Chromatogr A*; 1190: 27-38.
- [40] Polo M., Gómez-Noya G., Quintana J.B., Llompart M., García-Jares C., Cela R. 2004. Development of a Solid-Phase Microextraction Gas Chromatography/Tandem Mass Spectrometry Method for Polybrominated Diphenyl Ethers and Polybrominated Biphenyls in Water Samples. *Anal. Chem.*; 76: 1054-62.

Análisis de la Distribución de casos de Zoonosis en el Departamento de Malargüe, Mendoza, Argentina

Lecitra, R. (1)

Tort, J.A (1)

1 Instituto de Educación Superior, IES 9-018. Llancanelo 732, CP 5613, Malargüe
rutlecitra@gmail.com

RESUMEN

Las zoonosis son enfermedades transmitidas al hombre por animales, y pueden causar múltiples afecciones a los que las padecen. Actualmente los problemas más comunes son la falta de conocimiento del daño que ocasionan ciertas especies animales, la falta de recursos que satisfagan las necesidades básicas de los ciudadanos, y fundamentalmente la ineficiente política de prevención que no llega a cubrir la totalidad de las localidades. Es importante el conocimiento sobre los posibles riesgos de contagio a personas que desarrollan sus actividades a campo o aquellas personas que por accidente o imprudencia son víctimas de ellos.

El proyecto surge del dictado de un curso de riesgo biológico en el trabajo, que se está llevando a cabo en el IES 9-018, Malargüe. El área de estudio es el Departamento de Malargüe, Mendoza, Argentina. Se analizó la distribución espacial de casos, y para esto se recopiló la información de las enfermedades zoonóticas que fueron registradas en el Hospital Regional Malargüe. Los datos recolectados fueron: diagnóstico de la enfermedad, cantidad de casos, lugar de ocurrencia, edad y sexo del paciente. Cabe aclarar que la totalidad de los datos registrados para este estudio fueron anónimos. Los datos registrados corresponden al período 2008 y 2010, se caracterizan casos de enfermedades de hidatidosis, chagas, y brucelosis. Además se tuvieron en cuenta los casos de mordeduras de ofidio y arácnidos, ya que fueron consideradas como patologías de riesgo porque este tipo de animales son frecuentes de encontrarlos en los lugares de trabajo en el campo.

Se propone estimular la educación en todos los niveles, la investigación, dar a conocer las principales vías de contagio de enfermedades transmitidas por animales, por último se discuten las actividades de trabajo que al realizarlas con descuido ponen en peligro la salud de la población.

INTRODUCCIÓN

La valoración de los riesgos biológicos en el lugar de trabajo se ha centrado hasta ahora en los agricultores, los trabajadores de los servicios sanitarios y el personal de los laboratorios, todos los cuales presentan un riesgo considerable de efectos nocivos para la salud. La detallada recopilación de riesgos biológicos realizada por Dutkiewicz et al. (1988) demuestran que también los trabajadores de muchas otras profesiones están expuestos a ellos.

Las zoonosis son enfermedades transmitidas por animales. Por lo tanto, aunque la propagación zoonótica de enfermedades infecciosas sigue produciéndose en los animales de laboratorios utilizados para la investigación biomédica, el número de epidemias declaradas se ha reducido gracias a la adopción de procedimientos veterinarios y de cría de animales domésticos más rigurosos, la utilización de animales criados para fines comerciales y la institución de programas adecuados para proteger la salud del personal (Fox y Lipman 1991).

La frecuencia de las enfermedades transmitidas por vectores (ETV) están estrechamente vinculadas al deterioro y contaminación ambiental, la deforestación, la urbanización desorganizada, etc. Las ETV predominan en las zonas rurales, donde la pobreza atenta contra la calidad de la vivienda y se asocia a deficiencias en la provisión de servicios. En nuestro país, las patologías de carácter regional de mayor interés para la salud ambiental son el dengue, el paludismo, la leishmaniosis, la hantaviriosis, el Chagas, la leptospirosis y la fiebre hemorrágica argentina entre otras.

En las regiones cálidas y templadas o incluso hasta en las zonas desérticas como en la que se halla el Departamento de Malargüe, Mendoza, las mordeduras de serpiente

suponen un peligro mortal para ciertas categorías de trabajadores: agricultores, trabajadores de la construcción y de las obras públicas, trabajadores de industrias del petróleo o minería, científicos que realizan salidas a campo, y personal de laboratorio. La gran mayoría de las serpientes son inofensivas para el ser humano, pero otras pueden causar lesiones graves por sus mordeduras venenosas; las especies peligrosas se encuentran tanto entre las serpientes terrestres (colúbridos y vipéridos) (Rioux y Juminer 1983). Según la Organización Mundial de la Salud (OMS 1995), las mordeduras de serpiente causan unas 30.000 muertes al año en Asia, unas 1.000 muertes en África y otras tantas en Sudamérica.

Por otro lado, la alta concentración de animales domésticos de compañía en la ciudad y áreas urbanas y suburbanas, además de ciertas conductas desaprensivas en el cuidado del espacio público, son determinantes de una elevada contaminación de suelos por materia fecal. Ésta, diseminada en veredas, plazas, parques de escuelas, hospitales, campos y tantos lugares más, implica falta de higiene y riesgo de transmisión de enfermedades, principalmente parasitosis zoonóticas: amebiasis, giardiasis, criptosporidiosis, toxoplasmosis y especialmente toxocaríasis.

En la Argentina varias enfermedades relacionadas con los roedores tienen impacto sobre la salud pública: síndrome renal y pulmonar por hantavirus, fiebre hemorrágica argentina, coriomeningitis linfocitaria, leptospirosis, salmonelosis, y triquinosis. La asociación de los roedores con el ciclo de diferentes patógenos se ve favorecida porque constituyen el grupo más numeroso dentro de los mamíferos, presentan una gran capacidad para colonizar exitosamente los ambientes humanos, y por las características ambientales que pueden afectar la transmisión de las enfermedades, produciendo cambios en la composición y abundancia de las comunidades de roedores, favoreciendo su interacción con los humanos, la transmisión entre animales y modificando los ciclos de las enfermedades. (Ministerio de Salud y Ambiente de la Nación, 2002.)

OBJETIVOS

En el siguiente trabajo se tomaron en cuenta los siguientes objetivos

Generales

Estimular la investigación para conocer las principales vías de contagio de enfermedades transmitidas por animales en el Departamento de Malargüe, Mendoza.

Específicos

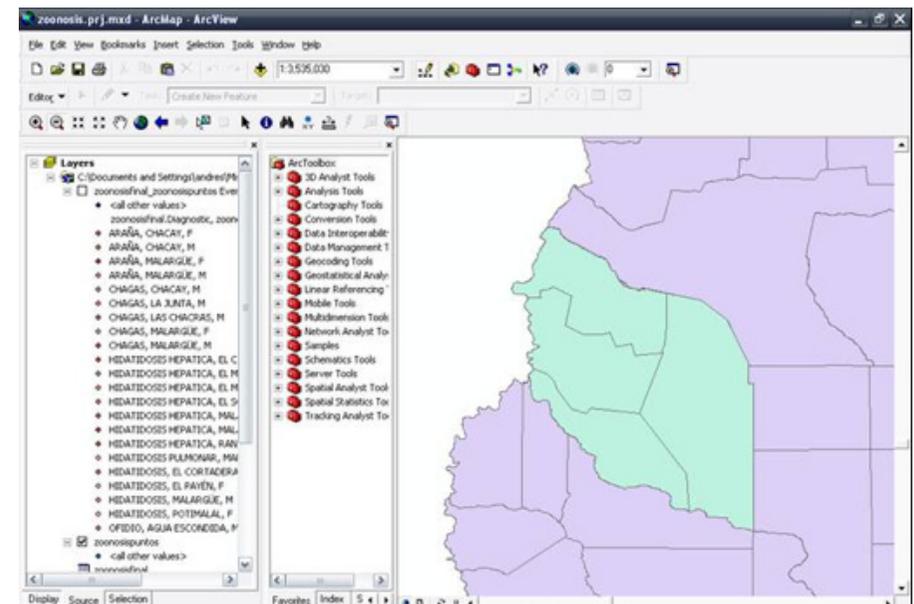
1. Contar en formato de datos GIS la información de base de los diagnósticos de enfermedades.
2. Conocer la distribución geográfica de las zoonosis en el Departamento de Malargüe y los centros de salud cercanos.
3. Conocer los datos relevados en los centros de salud

METODOLOGÍA

Se realizaron entrevistas a los médicos y personal del Servicio de Estadística del Hospital Regional Malargüe para registrar los datos procedentes de los casos de zoonosis de la región. Se creó la base de datos con la siguiente información: procedencia de los pacientes, diagnóstico, sexo, edad. Los datos fueron registrados durante los años 2008 hasta abril de 2010.

Se georreferenciaron todas las capas de información al sistema de referencia WGS84 para poder trabajar con coordenadas Geográficas (mapa1).

Mapa 1. Capas de información por distritos del Departamento de Malargüe, Mendoza.



Se construyeron tablas a partir de las variables: procedencia de los pacientes, diagnóstico, sexo, edad, coordenadas geográficas.

Tabla 1. Tablas de atributos a partir de las variables.

| OID | Field1 | Fecha | Sexo | Edad | Localidad | Diagnostic | XCORD | YCORD | FID | Id | Field1 * |
|-----|--------|------------------|------|------|----------------|------------|--------|---------|-----|----|----------|
| 10 | | 10/30/12/2009 | M | 29 | AGUA ESCONDIRA | OFICIO | -68.3 | -36.015 | 10 | 0 | 10 |
| 5 | | 5/24/01/2009 | M | 14 | CHACAY | ARAÑA | -69.6 | -35.23 | 5 | 0 | 5 |
| 7 | | 7/17/02/2009 | F | 2 | CHACAY | ARAÑA | -69.6 | -35.23 | 7 | 0 | 7 |
| 8 | | 8/01/04/2009 | M | 38 | CHACAY | ARAÑA | -69.6 | -35.23 | 8 | 0 | 8 |
| 11 | | 11/19/01/2010 | F | 24 | CHACAY | ARAÑA | -69.6 | -35.23 | 11 | 0 | 11 |
| 12 | | 12/09/02/2010 | M | 21 | CHACAY | ARAÑA | -69.6 | -35.23 | 12 | 0 | 12 |
| 14 | | 14/04/04/2008 | M | 47 | CHACAY | CHAGAS | -69.6 | -35.23 | 14 | 0 | 14 |
| 27 | | 27/30/04/2008 | F | 54 | EL CORTADERAL | HIDATIDOSI | -68.57 | -36.3 | 27 | 0 | 27 |
| 38 | | 38/25/03/2009 | F | 65 | EL CORTADERAL | HIDATIDOSI | -68.57 | -36.3 | 38 | 0 | 38 |
| 29 | | 29/10/06/2008 | F | 37 | EL MANZANO | HIDATIDOSI | -69.75 | -36.1 | 29 | 0 | 29 |
| 31 | | 31/08/01/2009 | M | 34 | EL MOLLAR | HIDATIDOSI | -69.73 | -35.33 | 31 | 0 | 31 |
| 40 | | 40/05/06/2009 | F | 23 | EL PAYÉN | HIDATIDOSI | -69.2 | -36.53 | 40 | 0 | 40 |
| 33 | | 33/12/01/2009 | F | 48 | EL SOSNEADO | HIDATIDOSI | -69.58 | -35.08 | 33 | 0 | 33 |
| 37 | | 37/17/03/2009 | F | 24 | EL SOSNEADO | HIDATIDOSI | -69.58 | -35.08 | 37 | 0 | 37 |
| 19 | | 19/19/04/12/2008 | M | 14 | LA JUNTA | CHAGAS | -69.48 | -35.25 | 19 | 0 | 19 |
| 23 | | 23/01/02/2010 | M | 45 | LAS CHACRAS | CHAGAS | -69.67 | -36.18 | 23 | 0 | 23 |
| 0 | | 0/18/03/2008 | F | 26 | MALARQUE | ARAÑA | -69.58 | -35.48 | 0 | 0 | 0 |
| 1 | | 1/29/03/2008 | F | 5 | MALARQUE | ARAÑA | -69.58 | -35.48 | 1 | 0 | 1 |
| 2 | | 2/05/04/2008 | M | 19 | MALARQUE | ARAÑA | -69.58 | -35.48 | 2 | 0 | 2 |
| 3 | | 3/04/05/2008 | F | 32 | MALARQUE | ARAÑA | -69.58 | -35.48 | 3 | 0 | 3 |
| 4 | | 4/04/01/2009 | M | 26 | MALARQUE | ARAÑA | -69.58 | -35.48 | 4 | 0 | 4 |

| FID | Shape | Id | Field1 * |
|-----|-------|----|----------|
| 0 | Point | 0 | 0 |
| 1 | Point | 0 | 1 |
| 2 | Point | 0 | 2 |
| 3 | Point | 0 | 3 |
| 4 | Point | 0 | 4 |
| 5 | Point | 0 | 5 |
| 6 | Point | 0 | 6 |
| 7 | Point | 0 | 7 |
| 8 | Point | 0 | 8 |

Se enlazaron las localidades con los casos de zoonosis y se generó un nuevo mapa de base. Se plasmaron los datos de rutas provinciales y centros de salud para conocer los accesos rápidos y obtener atención médica. Sin embargo, estaban disponibles muy pocos dado que sólo se cuenta con los centros de salud de la REGIÓN CUEMECO y no la del Departamento.

Por lo que se generó con el programa la base de datos de los distintos centros de salud, aunque sólo de las localidades cabeceras.

Se generó un mapa con toda la información disponible.

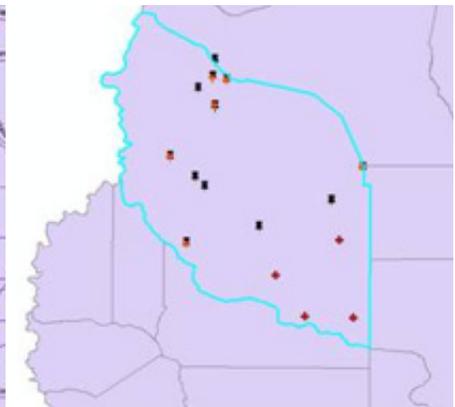
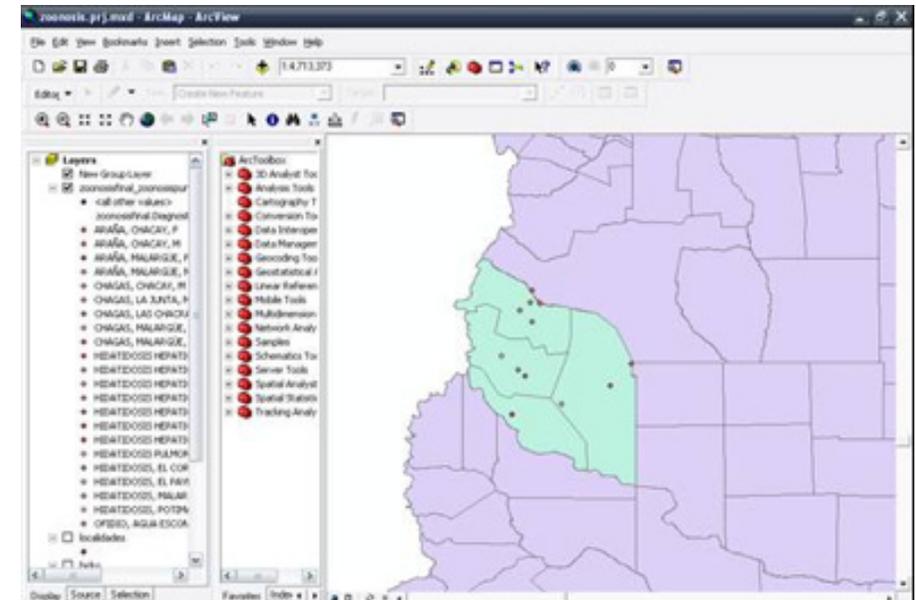


Tabla 2. Distribución de casos de zoonosis por Distritos en el Departamento de Malargüe, Mendoza, para el año 2008.

| LUGAR | ARAÑAS | CHAGAS | HIDATIDOSIS | OFIDIO |
|------------------|--------|--------|-------------|--------|
| MALARGÜE | si | si | si | |
| EST. CHACAY | si | si | | |
| AGUA ESCONDIDA | | | | si |
| LA JUNTA | | si | | |
| EL CORTADERAL | | | si | |
| RANQUIL NORTE | | | si | |
| EL MANZANO | | | si | |
| EL SOSNEADO | | | si | |
| EL SALITRAL | | | si | |
| MOLLAR | | | si | |
| EST. LAS CHACRAS | | si | | |
| RIO GRANDE | | | si | |

Tabla 3. Distribución de casos de zoonosis por Distritos en el Departamento de Malargüe, Mendoza, para el año 2009.

| LUGAR | ARAÑAS | CHAGAS | HIDATIDOSIS | OFIDIO |
|----------------|--------|--------|-------------|--------|
| MALARGÜE | 4 | 5 | 2 | |
| EST. CHACAY | | 1 | | |
| AGUA ESCONDIDA | | | | |
| LA JUNTA | | 1 | | |
| EL CORTADERAL | | | 1 | |
| RANQUIL NORTE | | | 1 | |
| EL MANZANO | | | 1 | |
| EL SOSNEADO | | | | |
| EL SALITRAL | | | | |
| RIO GRANDE | | | | |
| SEXO | 3F | 4F | 4F | |
| EDAD | 5 A 30 | 7 A 53 | 9 A 38 | |

Uno de los registros de picadura de araña viuda negra (*Latrodectus mactans*) correspondió a una niña de 2 años de edad.

Se registraron un caso de Hidatidosis y uno de Chagas, dos varones, cada uno de 9 años en la ciudad de Malargüe.

Tabla 4. Distribución de casos de zoonosis por Distritos en el Departamento de Malargüe, Mendoza, para el año 2010*.

| LUGAR | ARAÑAS | CHAGAS | HIDATIDOSIS | OFIDIO |
|------------------|---------|---------|-------------|--------|
| MALARGÜE | | 2 | | |
| EST. CHACAY | 4 | | | |
| AGUA ESCONDIDA | | | | |
| LA JUNTA | | | | |
| EL CORTADERAL | | | | |
| RANQUIL NORTE | | | | |
| EL MANZANO | | | | |
| EL SOSNEADO | | | | |
| EL SALITRAL | | | | |
| RIO GRANDE | | | 1 | |
| EST. LAS CHACRAS | | 1 | | |
| SEXO | 3F | 3M | 1F | |
| EDAD | 20 a 24 | 45 a 60 | 36 | |

Nota*: los datos obtenidos para el año 2010 corresponden hasta el mes de abril inclusive.

Pese a contar con datos del Hospital Regional Malargüe, NO se han reportado casos de Brucelosis para el período 2008 – 2010, pero SI se sabe que la zona presenta casos de dicha enfermedad.

CONCLUSIÓN

Las zoonosis o enfermedades transmitidas por animales pueden ser muy diversas y causar múltiples afecciones a las personas. Por esta razón es de vital importancia el conocimiento de la sociedad en general, y en particular por parte de aquellos docentes que trabajen en áreas rurales, trabajadores de campo, profesionales que tengan la posibilidad de realizar salidas ocasionales al medio natural, sobre los posibles riesgos zoonóticos a los que pueden llegar a estar expuestos.

Es necesario poder contar con un registro de los casos de zoonosis mas detallado de los centros de salud de todo el Departamento Malargüe.

Es fundamental para lograr una efectiva prevención, lograr un sistema de concientización de la sociedad en todos los niveles, social, económico y político, sobre los riesgos zoonóticos y sus formas de contagio.

BIBLIOGRAFÍA

- Burrell, R. 1991. Microbiological agents as health risks in indoor air. *Environ Health Persp* 95:29-34.
- Dutkiewicz, J, L Jablonski, S-A Olenchok. 1988. Occupational biohazards. A review. *Am J Ind Med* 14:605-623.
- Fox, JG, NS Lipman. 1991. Infections transmitted by large and small laboratory animals. *Dis Clin North Am* 5:131-63.
- Ministerio de Salud y Ambiente de la Nación. Dirección de Estadísticas e Información de Salud. 2002. Boletín Epidemiológico Nacional.
- Organización Mundial de la Salud (OMS). 1995. WHO XVII Occupational Health and Safety. En *International Digest of Health Legislation* Ginebra: OMS.
- Rioux, A. J., B., Juminer. 1983. Animales venenosos. En *Enciclopedia de salud y seguridad en el trabajo* (3ª ed.), dirigido por L Parmeggiani. Ginebra: OIT

Sistema para determinación de Radón en tiempo real

RESUMEN

El incremento de la concentración de radón-222 en los alrededores de un volcán es una variable útil para poder predecir erupciones y/o terremotos. El radón-222 es un gas noble radiactivo que decae con una partícula alfa de 5.49 MeV de energía. Con el objeto de poder determinar, en tiempo real, el contenido de radón en las cercanías del volcán Peteroa, se está desarrollando un sistema basado en una cámara de ionización abierta. Conceptualmente el aire con radón radioactivo ingresa por convección natural al detector y genera una corriente eléctrica que es producto de la ionización que producen las partículas alfa del decaimiento del radón. De esta forma la corriente medida es proporcional a la actividad del radón en el interior del detector. Considerando el volumen del detector desarrollado, para valores de actividad de radón del orden de 200 Bq/m³ se espera tener una corriente cercana a 2 10⁻¹⁴ A. Esta corriente es muy baja y podría estar enmascarada tanto por la corriente propia del detector como por derivas térmicas del amplificador de corriente electrométrico. Para poder minimizar la corriente propia se puso especial énfasis en los materiales aislantes del detector y en la superficie del sistema de guarda en tanto que para minimizar la deriva térmica se desarrolló un amplificador con entrada compensada. Ensayos preliminares en laboratorio a lo largo de varios días permiten concluir que, bajo ciertas condiciones, la corriente propia del sistema es suficientemente baja y estable como para poder cuantificar los niveles de radón previstos.

INTRODUCCIÓN

El incremento del contenido de radón-222 en los alrededores de un volcán es una variable útil para poder predecir erupciones y/o terremotos. El radón-222 es un gas noble radiactivo que decae con una partícula alfa de 5.49 MeV de energía. Con el objeto de poder determinar, en tiempo real, el contenido de radón en las cercanías del volcán Peteroa, se está desarrollando un sistema basado en una cámara de ionización abierta. Conceptualmente el aire con radón radioactivo ingresa por convección natural y/o di-

**Miller Marcelo (1),
Villanueva José (1).**

1 Comisión Nacional de Energía Atómica, Avenida de Libertador, Nº 8250, CP 1429, C.A.B.A, República Argentina.

miller@cae.cnea.gov.ar

fusión al detector y genera una corriente eléctrica que es producto de la ionización que producen las partículas alfa del decaimiento del radón y de sus hijas. De esta forma la corriente medida es proporcional a la actividad del radón en el interior del detector. Por otra, parte el sistema deberá funcionar con muy baja potencia ya que sólo se contará con paneles solares para su alimentación. En una primera etapa se instalará un sistema simplificado en el lugar seleccionado y se lo evaluará en forma directa durante un tiempo predeterminado. Fundamentalmente se observará el nivel de la corriente y su evolución con el tiempo. En una segunda etapa, se pretende que el sistema guarde en una memoria local los datos adquiridos durante un tiempo prefijado de funcionamiento para su posterior análisis. Dicho análisis permitirá validar el sistema de detección de radiación. Finalmente, en una tercera etapa, se pretende incluir una electrónica adicional que permita enviar los datos adquiridos en forma remota y de esta forma, poder hacer un seguimiento continuo de la evolución del radón.

El sistema se instalará dentro de una cueva natural que posee una puerta para su cierre y acceso, la misma se muestra en la Figura 1. De esta forma se contará con un espacio con un cierto grado de estanqueidad que permitirá la acumulación de radón para su mejor detección. El nivel base de radón en la cueva [1] se determinó con mediciones preliminares. El valor obtenido fue del orden de 200 (Bq / m³aire)radón y se prevé que este valor será significativamente mayor poco tiempo antes de que se produzca una erupción.

DESARROLLO EXPERIMENTAL

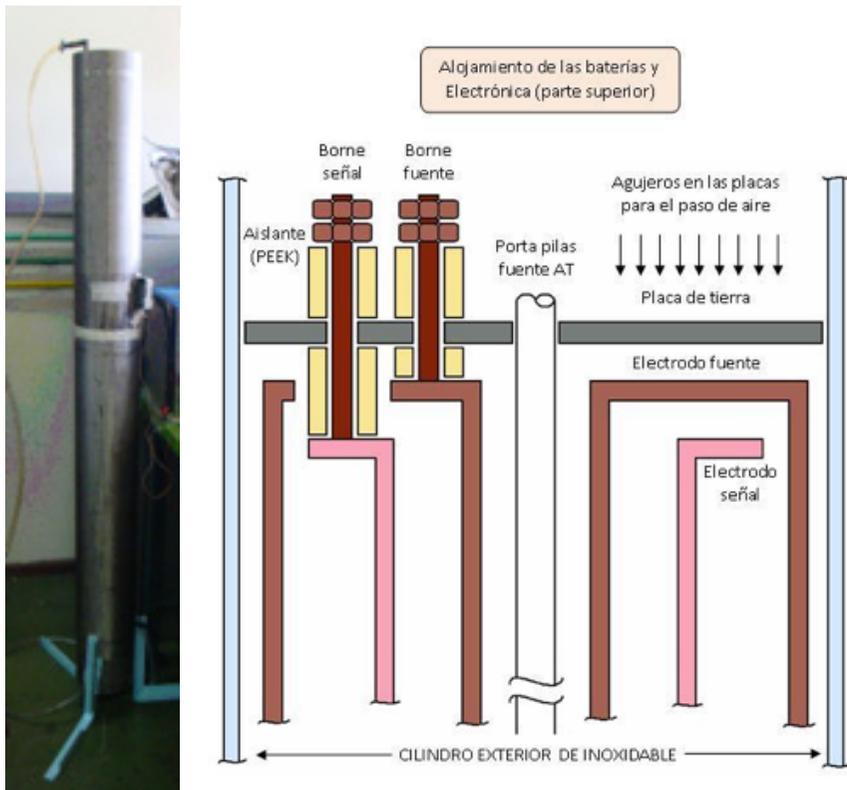
Descripción del Detector:

Una fotografía del exterior del prototipo de la cámara de ionización abierta puede verse a la izquierda de la Figura 2 y un corte esquemático a la derecha de la misma.

Figura 1. Fotografía de la cueva natural en la que se instalará el detector.



Figura 2. Fotografía del exterior de la cámara y corte esquemático de la misma.



Las características de la cámara son las siguientes:

- Diámetro externo: 168 mm
- Longitud externa: 880 mm
- Material del cuerpo: Acero inoxidable
- Diámetro externo de zona sensible: 151 mm
- Diámetro interno de zona sensible: 32 mm
- Longitud de zona sensible: 770 mm
- Material de electrodos: Aluminio
- Material de aisladores: PEEK
- Volumen sensible: 12.8 litros (~ 0.013 m³)
- Sensibilidad (estimación teórica): 0.4 fA / (Bq / m³aire) radón

Estimación Teórica de la Corriente de Trabajo:

Considerando el nivel base de radón en la cueva (del orden de 200 Bq/m³) y el volumen sensible del detector desarrollado (~ 0.013 m³), la actividad de radón dentro del detector una vez alcanzado el equilibrio será de alrededor de 2.6 Bq. Si se considera como hipótesis que las partículas alfa dejan toda su energía en el aire y sabiendo que la energía para formar un par electrón catión es de alrededor de 30 eV, la cantidad total de pares electrón-catión formados por segundo será del orden de $2.6 \times 5.49 \cdot 10^6 / 30$ [1/s]. Es decir algo mayor a 4.7 10⁵ pares / s que multiplicado por la carga del electrón daría una corriente cercana a 7.6 10⁻¹⁴ A. Sin embargo, dado que las partículas alfa con esta energía poseen un rango de frenado en aire cercano a 4 cm y que la distancia entre electrodos es de 3 cm parte de la energía de algunas partículas alfa se va a depositar en algún electrodo en lugar de quedar en el aire.

Por simulación se estimó que la energía depositada en al aire es aproximadamente el 50 % de la energía total. De esta forma la corriente obtenida real debida puramente al decaimiento del radón será de alrededor de 4 10⁻¹⁴ A. Pero por otro lado, en la cadena de decaimiento del radón también quedan isótopos radiactivos como el Polonio 218, el Plomo 214, el Bismuto 214 y el Polonio 214 que poseen decaimiento alfa o beta con vidas medias del orden de algunos minutos. Estos isótopos ya no serían gaseosos y quedarían retenidos dentro del detector con su contribución adicional a la señal, con un factor entre 2 y 3.

Consideraciones sobre las Corrientes Esperables:

La estimación teórica muestra que la corriente base es muy baja (menos de 100 fA) y podrían estar enmascaradas tanto por la corriente propia del detector (sin radiación y dependiente de la humedad) como por derivas térmicas del amplificador de corriente electrométrico.

Para poder minimizar la corriente propia del detector se puso especial énfasis en los materiales aislantes del detector y en la superficie del sistema de guarda.

Con respecto a los materiales aislante se eligió utilizar PEEK ya que experiencias preliminares mostraron que es muy poco higroscópico. Esto es fundamental dado que al ser una cámara abierta la humedad ingresada podría depositarse sobre la superficie de los aisladores del circuito de señal con la consecuente disminución de la aislación y el incremento de la corriente de fuga. También habrá que tener en cuenta que el ingreso de polvo o aerosoles al detector podría generar un mal funcionamiento luego de un cierto tiempo. Si esto ocurriera podría ser solucionado con un mantenimiento periódico.

Con relación al sistema de guarda, todos los aisladores tanto de señal como de alta tensión, están referenciados a dos tapas de tierra construidas con aluminio (Figura 2). Dado que la superficie del aluminio se oxida formando una capa de alúmina, si se depositara una capa de humedad sobre esta superficie aislante podría generar caminos de corriente entre el circuito de alta tensión y el de señal sin ser derivada a tierra, incrementando la corriente de fuga. Para eliminar este posible efecto se cubrió con pintura de plata ambas tapas de tierra asegurando que las corrientes que provienen del circuito de señal se descarguen a tierra sin afectar la medición.

Descripción de la Fuente de Alta Tensión.

La fuente de alta tensión para polarizar el detector se eligió en base a dos criterios

- Estabilidad de la fuente.
- Autonomía a largo plazo sin alimentación.

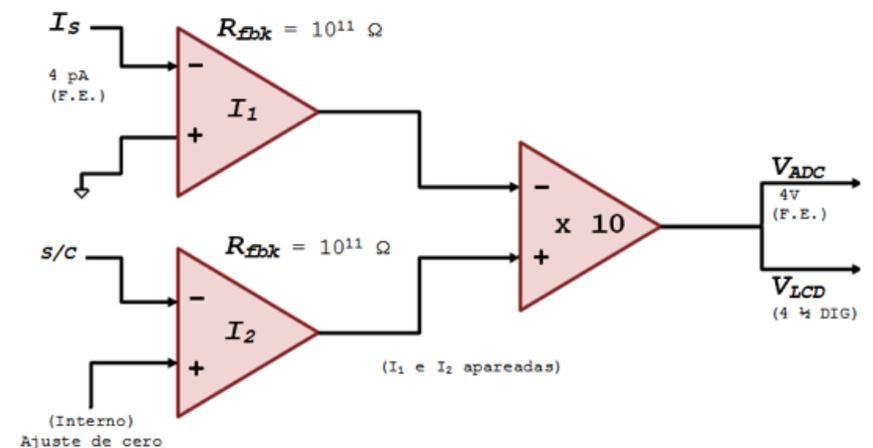
La estabilidad de la fuente es muy importante ya que toda fluctuación de la tensión entregada se traduce, a través del acople capacitivo del detector, en una fluctuación de la corriente medida, que como ya se analizó es de tan bajo nivel que estas fluctuaciones

podrían enmascararla. Con este criterio una fuente de alimentación en base a baterías es lo más adecuado ya que ninguna fuente electrónica tiene una fluctuación tan baja como una fuente de baterías.

Con respecto a la autonomía sin alimentación también una fuente a batería resultó ser lo más adecuado ya que el consumo del sistema es inferior a la descarga propia de las baterías con lo que se podría asegurar un tiempo de uso similar al tiempo especificado para el almacenamiento (meses o años).

De esta forma se construyó una fuente de 288 V construida con 24 baterías de 12 V ubicadas en forma lineal a lo largo de un tubo contenedor de unos 70 cm de longitud y 1 cm de diámetro externo. Este conjunto fue ubicado dentro del tubo de menor diámetro del detector y a lo largo del mismo (zona no sensible) y conectado en forma permanente con el circuito de alta tensión del detector. El hecho de ubicar la fuente de alta tensión dentro del mismo detector tiene la ventaja adicional de minimizar la interferencia electromagnética en la fuente y su conversión a ruido en la corriente del sistema.

Figura 3. Esquema de la compensación en la entrada del amplificador.



Descripción del Amplificador de Corriente Electrométrico.

Dado el bajo nivel de corriente a medir es indispensable utilizar un amplificador de corriente de tipo electrométrico. Aun así, si no se toman los recaudos de diseño adecuados, este tipo de instrumentos puede presentar una deriva propia de la señal con la temperatura y con la humedad que puede ser del orden de la corriente a medir. Para minimizar ambos efectos se diseñó, construyó y ensayó un prototipo. El efecto de la humedad se resolvió encerrando los componentes electrónicos críticos dentro de un cilindro de aluminio estanco. Por otra parte la deriva con la temperatura se resolvió utilizando dos operacionales iguales de entrada trabajando en forma compensada, uno de los cuales recibe la señal del detector. Un esquema conceptual del amplificador se puede ver en la Figura 3.

Al igual que la fuente de alta tensión, el amplificador se instaló dentro del cuerpo exterior (tierra) del detector, para minimizar captación electromagnética. Por otra parte, tanto para disminuir posible ruido de línea como para lograr autonomía de alimentación, se pudo alimentar el amplificador con otro conjunto de 2 baterías de 12 V y 7 A/h. El consumo del amplificador no es tan bajo por lo que se deberá implementar un sistema periódico de recarga de las baterías basado en los paneles solares que actualmente hay disponibles en el lugar de instalación. También las baterías de alimentación del amplificador fueron instaladas dentro del cuerpo del detector con el mismo concepto de disminuir interferencia electromagnética.

Para evaluar la deriva del amplificador solo, se conectó la salida del mismo a un adquirente de señal que tomaba el valor del amplificador cada un tiempo prefijado y a su vez transmitía dicho valor a una PC que los guardaba en memoria. El resultado de una adquisición que duró 29 horas, representativa de los ensayos realizados, se presenta en la siguiente sección.

Ensayo del Sistema en Laboratorio

La evolución de la corriente de fuga del sistema en su conjunto, (detector polarizado con fuente de alta tensión y señal medida con el amplificador electrométrico polarizado con baterías), fue estudiada en laboratorio a lo largo de varias semanas. Al igual que lo realizado con el amplificador solo, la señal del sistema era tomada cada cierto tiempo prefijado por un adquirente de señal que a su vez transmitía dicho valor a una PC que guardaba el dato en memoria. Para el cálculo de los valores medios, en cada serie de va-

lores adquiridos en crudo, solo se han estudiado y utilizado, los valores de las zonas no perturbadas, es decir que al efecto no fueron consideradas de los gráficos las zonas de ruido debido a los efectos climáticos. Los resultados se muestran en la sección siguiente.

Futura Determinación de la Sensibilidad del Sistema.

Para poder calibrar el sistema se contará con la colaboración del laboratorio de radón de la Autoridad regulatoria Nuclear. Dicho laboratorio posee una facilidad que consiste en una caja de guantes de aproximadamente 1m x 1m x 1m, dentro de la cual se introducen piedras de uranio generadoras de radón. Luego de un cierto tiempo de confinamiento se alcanza una concentración de radón en equilibrio que puede ser cuantificado por métodos independientes (típicamente se pueden alcanzar valores de actividad de hasta 5000 Bq/m³). Con un sistema de bombeo auxiliar se hará circular el aire con radón de la caja de guante por el interior del detector a calibrar. Esperando el tiempo suficiente para que también el decaimiento de las hijas del radón alcance el equilibrio (alrededor de 3 horas), se determinará la sensibilidad del sistema como la corriente medida dividido la actividad del radón en la caja de guantes.

RESULTADOS

El valor de corriente obtenido en el ensayo del amplificador electrométrico solo, fue de -2 fA con una dispersión de 0.2 fA (la temperatura del ambiente varió 7 °C en las 29 horas durante este ensayo). Otros ensayos realizados (con duraciones similares) permitieron estimar que esta buena estabilidad del cero sería mantenida para temperaturas variando entre 3 °C y 30 °C. Una evolución típica de la señal del sistema a lo largo de varias horas en el laboratorio puede verse en la Figura 4 (página siguiente).

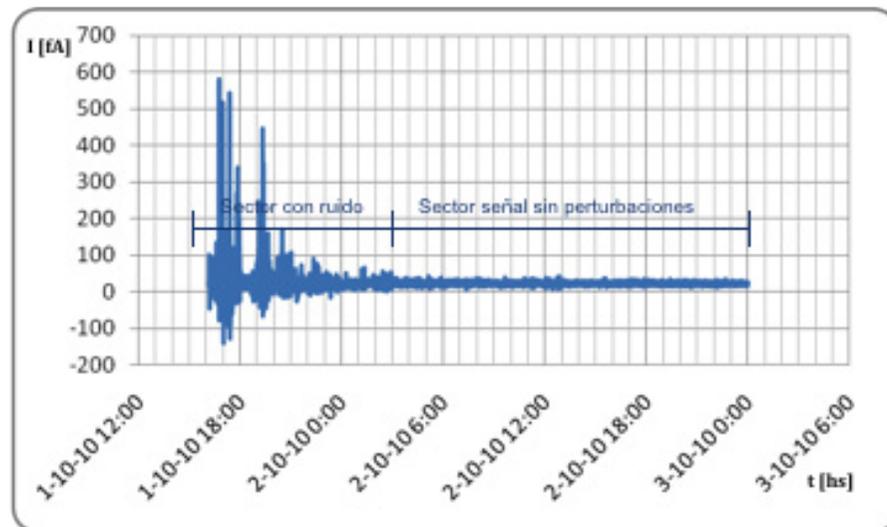
DISCUSIÓN

Los resultados del ensayo del electrómetro indican que la corriente propia del amplificador como su fluctuación y deriva, pueden considerarse despreciables con respecto a las corrientes teóricas estimadas.

De los resultados obtenidos en laboratorio se puede concluir que la corriente propia en ausencia de cambios bruscos de temperatura es suficientemente baja y estable como para poder cuantificar los niveles de radón previstos teóricamente. Sin embargo hay que mencionar que cuando se producen cambios de temperatura en cortos tiempos (ej.

encendido de calefacción o aire acondicionado) se pueden producir transitorios importantes de la corriente asociados a la evaporación, condensación y/o movimiento de la humedad dentro del detector que puede requerir tiempos de recuperación de condiciones normales de varias horas, tal como se puede ver en la Figura 4.

Figura 4. Evolución típica de la señal en el ensayo de laboratorio.



El valor medio semanal de la corriente y su desviación estándar a lo largo de cuatro semanas, puede verse en la Tabla I.

Tabla I. Valor medio semanal de corriente y desviación estándar obtenidos en un período de 4 semanas

| | Desde | Hasta | Media y Desviación [fA] |
|-----------------|------------------------|-------------------------|-------------------------|
| Semana 1 | 0:00 hs del 05/09/2010 | 23:59 hs del 11/09/2010 | 19,3 ± 2,9 |
| Semana 2 | 0:00 hs del 12/09/2010 | 23:59 hs del 18/09/2010 | 20,7 ± 3,6 |
| Semana 3 | 0:00 hs del 19/09/2010 | 23:59 hs del 25/09/2010 | 23,3 ± 2,3 |
| Semana 4 | 0:00 hs del 26/09/2010 | 23:59 hs del 02/10/2010 | 21,4 ± 1,5 |

En condiciones severas de perturbación térmica la corriente medida y su fluctuación pueden llegar a alcanzar valores de saturación de plena escala (4 pA).

Se supone que las variaciones térmicas dentro de la cueva serán mucho más lentas que las inducidas artificialmente en laboratorio, pero será necesario estudiar el comportamiento del sistema en las condiciones reales (humedad y variación de la temperatura) para su validación final.

Para concluir la etapa de desarrollo en laboratorio, previo a la instalación en campo, resta realizar la calibración experimental y poder confirmar o corregir de esta forma las corrientes estimadas.

CONCLUSIONES

La corriente propia en ausencia de cambios bruscos de temperatura y/o de alta humedad ambiente, es suficientemente baja y estable como para poder cuantificar los niveles de radón previstos teóricamente.

Es necesario estudiar el comportamiento del sistema en las condiciones reales (humedad y variación de la temperatura) para su validación final.

REFERENCIAS

- [1] Mediciones de gas radón en volcán Peteroa Malargüe, Mendoza, IN-SNA/PRAMU -M-025", CNEA-PRAMU.

Monitoreo de descargas atmosféricas

**Fernando A. Miranda Bonomi(1),
Ricardo R. Díaz(2),
Nestor E. Arias(1),
Juan E. Ise(1),
José I. Cangemi(1),
Miguel A. Cabrera(1)**

1 Laboratorio de Telecomunicaciones, Dpto. de Electricidad, Electrónica y Computación, Facultad de Ciencias Exactas y Tecnología, Universidad Nacional de Tucumán.

2 Laboratorio de Alta Tensión y Transmisión de Energía, Facultad de Ciencias Exactas y Tecnología, Universidad Nacional de Tucumán.

RESUMEN

Se presenta un desarrollo de hardware y software con el objeto de estudiar las descargas atmosféricas, en cuanto a la localización geográfica y temporal de las fulminaciones, en un área de interés.

Como sensores de estos eventos se utilizan antenas de cuadro, dispuestas ortogonalmente de a pares, en direcciones norte-sur y este-oeste. Estas captan las señales de muy baja frecuencia (VLF) producidas por las descargas. Las señales recepcionadas son digitalizadas en seis canales, filtradas mediante transformada wavelet y almacenadas. Se excluyen de este estudio periodos de silencio, según un umbral de captura programado de acuerdo al piso de ruido observado en el área bajo estudio.

El software desarrollado para este sistema determina, midiendo amplitudes relativas, las direcciones de arribo y estima mediante ajuste por mínimos cuadrados las posiciones de los eventos, generando informes sobre la distribución geográfica y temporal de las descargas captadas.

Ensayos preliminares de laboratorio permiten estimar la sensibilidad del método a fin de discriminar la señal de interés del ruido de base; estableciendo parámetros necesarios para distinguirla. Este desarrollo es una contribución de utilidad para la planificación de medidas de protección y a la investigación sobre descargas atmosféricas.

INTRODUCCIÓN

Las descargas atmosféricas entre nubes y tierra fulminan regularmente tendidos eléctricos, estructuras y antenas generando a veces graves daños que en algunos casos afectan la calidad de vida de la población produciendo cuantiosas pérdidas materiales o humanas. El estudio de su comportamiento es fundamental para planificar medidas de protección y generar políticas para proteger a las personas y la propiedad. Por tal motivo iniciamos un proyecto de investigación y desarrollo a fin de obtener un sistema de localización automático de descargas atmosféricas que permita estudiar la distribución geográfica y temporal de las fulminaciones.

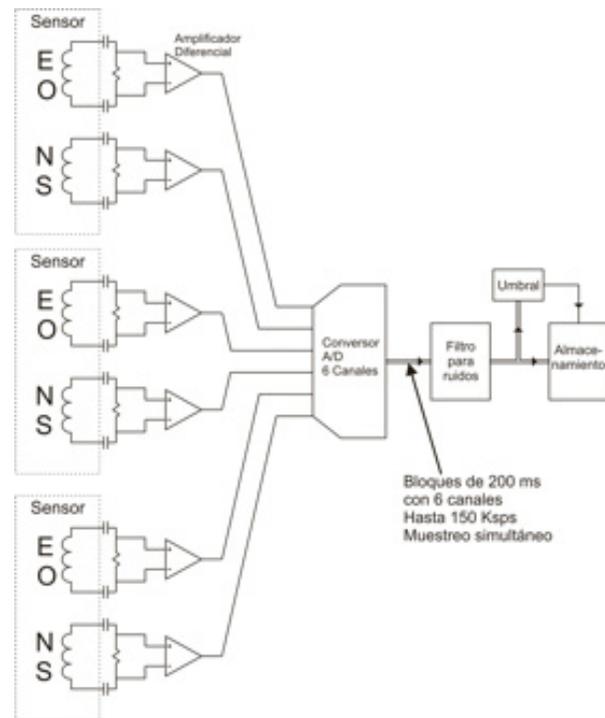
DETECCIÓN DE LAS DESCARGAS

Las descargas atmosféricas generan fuertes señales electromagnéticas de carácter transitorio en una amplia banda de frecuencias [Cooray, 2003; Arias, 2005; entre otros]. En nuestro prototipo estudiamos las señales en la banda de 4 khz.

A fin de detectar las señales producidas por las descargas atmosféricas y establecer la posición de la fulminación generamos un prototipo que cuenta con tres sensores, que deben ubicarse en distintas posiciones, formados cada uno por un par de antenas de lazo cortas activas sintonizadas [Kraus, 1988] en 4 khz las cuales están orientadas con su plano de máxima sensibilidad en direcciones Norte-Sur y Este-Oeste respectivamente. Las señales de dichos sensores son digitalizadas y luego filtradas mediante transformada wavelet discreta [Mallat, 2008] para atenuar el ruido. Las descargas se detectan mediante un umbral de amplitud, como se muestra en la Figura 1.

Al detectarse una señal, se toma el primer pico supra-umbral de la misma para cada antena. En base a las amplitudes y signos de los picos correspondientes a cada antena componente de un mismo sensor se obtiene la dirección desde la posición de dicho sensor a la posición fulminada.

Figura 1: Representación esquemática - Captura de datos

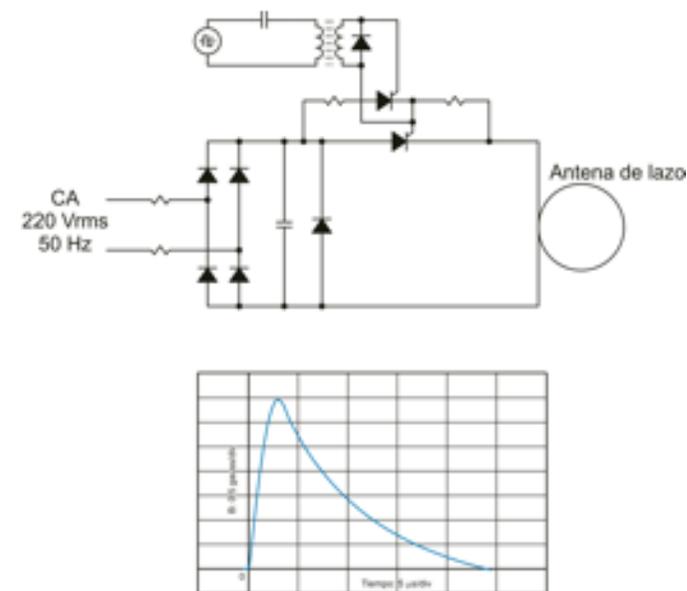


MEDICIONES DE LOS EVENTOS

Para tener un mejor panorama de la distribución de las descargas atmosféricas, la información recolectada se agrupa por categorías, sumando todas las descargas ocurridas en cada quincena y todas las descargas ocurridas en cada zona de 1' por 1' de latitud y longitud para determinado periodo de tiempo. Esto permite obtener una estimación de la distribución temporal de las descargas por un lado y de su distribución espacial por el otro. Ambos datos son importantes para el estudio del comportamiento y el análisis morfológico de las descargas atmosféricas en la zona estudiada.

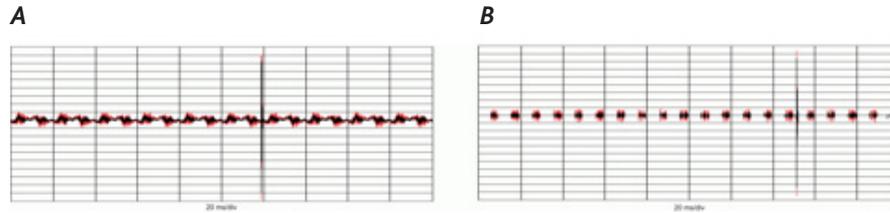
Se realizaron mediciones de laboratorio a fin de verificar la rutina de captura, para ello se generaron impulsos mediante una descarga capacitiva a través de una antena lazo como se ilustra en la Figura 2. Por la baja energía de los impulsos, la relación señal ruido no puede ser considerada óptima, sin embargo se lograron capturar sin inconvenientes los transitorios inducidos en un sensor y detectar el primer pico de los mismos, los que se ilustran en la Figura 3A y 3B.

Figura 2: Generador de señal de prueba



ENSAYOS DEL PROTOTIPO

La prueba del filtro mostró que, aunque suaviza la señal eliminando parte del ruido, los componentes impulsivos generados, por ejemplo, por fuentes de alimentación conmutadas pasan en muchos casos por el filtro con mayor facilidad (ver figura 3 derecha). Esto indica que es preferible la ubicación de los sensores en zonas de bajos niveles de interferencia con carácter impulsivo, pues de esta forma se logrará una mayor sensibilidad.



Se realizó también un ensayo numérico sobre el algoritmo de localización de fulminaciones, para ello se eligieron posiciones ficticias para sensores y descargas en Google Earth, se obtuvieron los ángulos y se generaron datos para alimentar el programa, con resultados fueron satisfactorios (errores dentro de la precisión de medidas de ángulos en Google Earth), al menos para distancias en el orden de los kilómetros a decenas de kilómetros, lo que se ilustra en las Tablas 4 y 5.

Tabla 4: Simulación numérica - Posición de las estaciones

| Estación | Posición | |
|----------|------------------|------------------|
| | Latitud | Longitud |
| I | 26° 49' 09.75" S | 65° 11' 06.78" O |
| II | 26° 49' 50.42" S | 65° 12' 18.89" O |
| III | 26° 48' 40.93" S | 65° 12' 12.28" O |

Tabla 5: Simulación numérica - Resultados

| Posición fijada | | Posición obtenida | | Error [m] | Distancias a las estaciones [km] | | |
|-----------------|-----------------|-------------------|-----------------|-----------|----------------------------------|-------|-------|
| Latitud | Longitud | Latitud | Longitud | | I | II | III |
| 26°50' 08,32" S | 65°10' 50,69" O | 26°50' 08,31" S | 65°10' 50,70" O | 0,37 | 1,85 | 2,49 | 3,50 |
| 26°49' 07,98" S | 65°11' 52,32" O | 26°49' 07,99" S | 65°11' 52,33" O | 0,46 | 1,26 | 1,50 | 1,00 |
| 26°49' 13,43" S | 65°09' 59,10" O | 26°49' 13,43" S | 65°09' 59,14" O | 1,11 | 1,87 | 4,02 | 3,81 |
| 26°50' 35,59" S | 65°12' 59,92" O | 26°50' 35,59" S | 65°12' 59,92" O | 0,12 | 4,09 | 1,79 | 3,76 |
| 26°44' 13,37" S | 65°15' 14,77" O | 26°44' 13,53" S | 65°15' 14,69" O | 5,31 | 11,40 | 11,44 | 9,64 |
| 26°48' 44,59" S | 65°17' 42,15" O | 26°48' 44,60" S | 65°17' 42,25" O | 2,87 | 10,93 | 9,14 | 9,10 |
| 26°55' 20,14" S | 65°20' 15,66" O | 26°55' 20,39" S | 65°20' 16,02" O | 12,60 | 18,94 | 16,60 | 18,12 |
| 26°51' 34,85" S | 65°06' 01,82" O | 26°51' 34,99" S | 65°06' 01,34" O | 14,00 | 9,52 | 10,88 | 11,53 |

CONCLUSIONES

Se presentó un desarrollo a nivel de prototipo en hardware y software para estudiar descargas atmosféricas, su localización geográfica y temporal, en un área de interés. Los resultados preliminares demuestran la confiabilidad del prototipo y permitió evaluar en condiciones de laboratorio la sensibilidad en la detección de las descargas. El paso siguiente es su despliegue, para ello deben realizarse algunas mejoras al prototipo para aumentar la confiabilidad de su construcción, portabilidad, ajuste de sensibilidad en función de la distancia de los eventos a detectar y comunicación inalámbrica robusta con los sensores.

BIBLIOGRAFÍA

- [Arias, 2005]: N. E. Arias, Comportamiento de un rayo como antena lineal delgada, Revista CET, FACET, Universidad Nacional de Tucumán, Vol 1, pp.1-16, Diciembre 2005.
- [Corray, 2003]: G. V. Cooray, The Lightning Flash, The Institution of Engineering and Technology 2003, ISBN 9780852967805.
- [Kraus, 1988]: J. D. Kraus, Antennas, Second Edition, McGraw-Hill 1988, ISBN 9780070354227
- [Mallat, 2008]: S. Mallat, A Wavelet Tour of Signal Processing, Third Edition: The Sparse Way, Academic Press 2008, ISBN 9780123743701

Sustentabilidad de Construcciones Portuarias Realizadas con Hormigón Armado

**C. Montero (1),
N.F. Ortega (2).**

1 Facultad Regional Bahía Blanca, Universidad Tecnológica Nacional, Argentina

2 Departamento de Ingeniería, Universidad Nacional del Sur, Bahía Blanca, Argentina
mcmontero@safetygem.com.ar

RESUMEN

El hormigón es el material de construcción más empleado, dentro de las obras que se realizan con él, una de las más significativas, son las portuarias. Estas obras pueden generar importantes afectaciones al ambiente, por ello, se presenta una metodología para establecer criterios de evaluación de la sustentabilidad de las mismas. En esta metodología se define un Índice de Contribución de la Estructura a la Sustentabilidad, que se obtiene a partir de una serie de indicadores, que valoran, con una visión ambiental, las condiciones en que se elabora el proyecto y la construcción de la obra portuaria de hormigón. Estos indicadores consideran las condiciones de seguridad laboral, las normas de durabilidad, aspectos relacionados con el proceso constructivo, materiales utilizados, controles en la ejecución, generación de residuos, etc.

INTRODUCCIÓN

Es un hecho ampliamente aceptado que, en la industria de la construcción, el hormigón es el material más utilizado en nuestro país y en el mundo. Muchas son las ventajas que aporta a la sociedad su empleo en distintas obras, que van desde viviendas, hasta grandes emprendimientos como los relacionados con el suministro de agua potable y energía, medios de transporte, etc.

El hormigón está formado por la combinación de cemento, agregados pétreos finos y gruesos y en muchos casos, con la adiciones de productos para mejorar sus propiedades.

La fabricación del cemento se basa en la cocción de piedra caliza y otros ingredientes a 1.450 °C, obteniendo el clínker, que al molerlo e incorporarle una pequeña cantidad de yeso da el cemento. Se asocian a estos procesos, efectos ambientales tales como:

- a.** La cocción en hornos que generan emisiones de gases de combustión, que tienen como origen las reacciones químicas y físicas provocadas por la cocción de las materias primas (60%) y los procesos de combustión (40%). Los constituyentes principales de estos gases son nitrógeno, CO₂ (originado en la descarbonatación de la caliza y de la combustión), agua (proveniente de las materias primas y del proceso de combustión) y oxígeno. Sin embargo, también hay aportes positivos al ambiente, relacionadas con la gestión de residuos de otras actividades industriales, usadas por su poder energético y como material, a través de la reutilización de algunos residuos.
- b.** Puede atribuírsele un impacto derivado de la ocupación de espacios, es decir un impacto visual y las actividades realizadas durante la explotación, tales como voladuras, trituración y transporte.
- c.** Los procesos de manipulación y almacenamiento de materiales generan polvo en suspensión, esto ha sido el impacto más evidente de estas las plantas, sobre las poblaciones.
- d.** A pesar de todo, el horno de clínker no genera residuos ni vertidos de agua. En lo que respecta a los agregados gruesos y finos, su extracción en canteras, almacenamiento y manipulación generan diversos impactos negativos, similares a los que se han descripto para el cemento, en los incisos b y c.

Por estos motivos, y considerando que en un futuro cercano será muy difícil que se pueda reemplazar el hormigón por otro material, resulta imprescindible que se estudie, la forma de reducir el impacto ambiental negativo que generan estas construcciones como una de las maneras de mejorar la sustentabilidad de nuestra sociedad.

Existe un concepto que está muy relacionado con estos impactos, que es el de "vida útil", que tiene un especial peso en determinados sitios, este es el caso de las construcciones que se encuentran cerca de las costas del mar. En este trabajo se analizará una forma de cuantificar la sustentabilidad de las obras portuarias, realizadas en hormigón. En este trabajo se considerará la construcción en toda su amplitud, teniendo en cuenta todos los agentes que participan en este proceso. Agrupándolos en tres categorías: La Propiedad, el Equipo de Proyecto y la Empresa Constructora. Estos pueden someterse voluntariamente a criterios de sustentabilidad, para obtener la certificación de algún organismo nacional o internacional, siendo el más conocido ISO (Organización Internacional para la Estandarización) que ha creado la serie de normas 14000, relacionadas con la Gestión del Ambiente y las ISO 9000 o Sistemas de Gestión de Calidad. Dentro de estas series, se citarán más adelante la norma ISO 14001:2004. Sistemas de Gestión Ambiental Requisitos con orientación a su uso [1] y la ISO 9001:2008 Gestión de Calidad orientada a la satisfacción del cliente [2].

LA PROPIEDAD

Para definir la Propiedad, se utilizará el concepto de ciclo de vida de la nueva construcción, este comprende las siguientes etapas:

- los estudios preliminares.
- la obtención de las licencias y permisos que sean requeridos.
- las bases del Proyecto y la supervisión del mismo, por parte de la Propiedad y las agencias oficiales.
- la elaboración del proyecto.
- la elección del Constructor.
- La propia ejecución de la obra y su supervisión.
- La entrega de la obra y el periodo de funcionamiento que incluye la gestión de la misma a lo largo de su vida de servicio.

El tener en cuenta la durabilidad de las obras en todas las fases de su ciclo de vida, es un valor añadido que mejora su rentabilidad económica y social.

Aunque muchas de las consideraciones que se expondrán en este trabajo pueden aplicarse a distintos tipos de obra, con estructuras de acero u hormigón y a distintas partes de la misma, aquí estudiarán las construcciones portuarias de hormigón

Construcción de la sustentabilidad

La sustentabilidad es un concepto no restringido solo a la construcción, que requiere que se satisfagan una serie de criterios ambientales, así como otros de carácter económico y social. Al hablar de Propiedad se pueden valorar aspectos, tales como la amortización de los impactos durante la vida útil, la calidad de la gestión, la optimización de los costos de mantenimiento, la incorporación de técnicas innovadoras para el control de los procesos o la formación del personal que participa en las distintas etapas del ciclo. Una de las herramientas ambientales más importantes es la EIA, que se debe efectuar previo al proyecto definitivo y debe contener un Plan de Vigilancia Ambiental que contemple la realización de medidas correctivas, compensatorias y/o mitigatorias de estos impactos.

Índice de Sensibilidad Ambiental

Para la cuantificación, algunas normas [3] y recomendaciones [4] han elaborado unos criterios de evaluación de la sustentabilidad de las estructuras de hormigón, que pueden ser adaptadas a otras partes de la construcción. Se define un parámetro denominado ICES (Índice de Contribución de la Estructura a la Sustentabilidad) que se obtiene a partir de otro denominado ISA (Índice de Sensibilidad Ambiental) de la estructura, que suele determinar a partir de las condiciones en que se elabora el Proyecto y la Construcción del Puerto. La relación entre ambos obedece a la expresión:

$$ICES = a + b \times ISA$$

Con las limitaciones: $ICES \leq 1$ y $ICES \leq 2 \times ISA$

Donde el coeficiente a es un Índice de Contribución Social que son las aportaciones de la construcción a la innovación, a la formación y seguridad de las personas que intervienen en ambas etapas y a otros beneficios sociales. Un posible modelo para el cálculo de este coeficiente, se plantea como suma de los coeficientes parciales a_i de la Tabla 1.

$$a = \sum_{i=1}^5 a_i$$

Tabla 1. Coeficientes parciales del Índice de Contribución Social a

| Aportación | Proyecto a_i | Constructor a_j |
|--|----------------|-------------------|
| Se aplican en la construcción procedimientos o materiales innovadores desarrollados en los últimos 10 años. | 0 | 0.02 |
| Al menos el 30% del personal del Constructor ha recibido cursos de formación técnica, de gestión de calidad y/o ambiental. | 0 | 0.02 |
| Se adoptan medidas de seguridad y salud en la obra que superan las exigidas por la normativa oficial. | 0 | 0.04 |
| Se trata de una construcción declarada de interés general por las Administraciones Oficiales competentes. | 0.04 | 0.04 |

El coeficiente b tiene en cuenta la ampliación de la vida útil de la estructura, según:

$$b = \frac{VU_p}{VU_m} \leq 1.25$$

Donde VU_p es la vida útil considerada por el proyecto y VU_m es el valor mínimo de la vida útil exigida por la normativa oficial de aplicación.

Tabla 2. Categorías de contribución a la sustentabilidad

| Categoría | Rango ICES |
|-----------|------------|
| A | 0.8-1.0 |
| B | 0.6-0.8 |
| C | 0.4-0.6 |
| D | 0.2-0.4 |
| E | < 0.2 |

El índice ICES puede servir para establecer distintas categorías, en cuanto a la contribución de la estructura a la sustentabilidad, por ejemplo las indicadas en la Tabla 2.

A partir de una contribución a la sustentabilidad decidida por la Propiedad, se establece un valor de ICESP que deberá tener su implicación en las siguientes etapas:

- El Proyecto deberá incorporar las medidas adecuadas para que el índice que pueda deducirse de los documentos del proyecto ICESd sea inferior o igual a ICESp.
- Se debe considerar el proceso de selección del Constructor y su contrato.
- La Propiedad o Dirección de Obra controlarán el cumplimiento de los criterios de sustentabilidad contratados, alcanzándose un índice ICESc.

Se considera que la estructura de hormigón cumple el criterio de contribución a la sustentabilidad inicialmente definido por la Propiedad, cuando se cumple: $ICES_p \leq ICES_d \leq ICES_c$

ESTUDIO DEL PROYECTO

En la redacción de los documentos del proyecto se han de tener en cuenta los criterios de durabilidad y sustentabilidad, estudiándose el diseño de los elementos, las indicaciones y especificaciones establecidas por el proyectista, el estudio de seguridad y salud laboral y el Evaluación de Impacto Ambiental (EIA).

Generalmente se consideran dos categorías de exposición, definiendo las que tienen relación con la corrosión de las armaduras y las que son consecuencia de fenómenos químicos o físicos que producen deterioro del hormigón. De este modo se deberá verificar que se cumple el Estado Límite de Durabilidad, es decir que: $T_L \leq T_{vu}$

Siendo T_L el tiempo necesario para que las acciones agresivas, definidas en las clases de exposición, produzcan una degradación significativa (desde el punto de vista de la seguridad) en la estructura y T_{vu} el valor de diseño de la vida útil.

Se deberán tener en cuenta los siguientes aspectos para esta fase:

- Adecuadas formas, tanto en elementos principales como en secundarios, que permitan la evacuación del agua, eviten los depósitos de polvo, materia orgánica, etc. y dispongan de adecuado acceso para su limpieza, inspección y eventual sustitución.
- Calidad adecuada del hormigón para zonas marítimas. (naturaleza del cemento y de los áridos, contenido en sustancias potencialmente nocivas y dosificación).
- Una cuidadosa puesta en obra, con especial atención a mantener los recubrimientos mínimos que protege a las armaduras, que fueron proyectados.
- Protecciones especiales sobre la superficie del hormigón o sistemas de protección activa (protección catódica).
- Eliminar la utilización de estructuras pretensadas.

Hay que definir el valor de ICES que se quiere alcanzar, sin dejar de contemplar los aspectos del diseño y materiales que definen sus documentos, como la repercusión del proceso constructivo propuesto.

Un proyecto de obra portuaria ha de contemplar, aspectos de la obra en conjunto tales como ubicación, impacto en el entorno urbanístico y paisajístico, contribución al desarrollo sustentable del entorno social, accesibilidad, seguridad de los usuarios, gestión del mantenimiento, etc.

Pueden citarse las siguientes actividades de las obras portuarias que generan impactos:

- Los movimientos de tierra y del material de refulado del dragado.
- La realización de la estructura y de los elementos auxiliares del proceso constructivo.
- La facilidad de inspección y mantenimiento.
- La eficiencia de las distintas instalaciones.

ASPECTOS DEL PROCESO CONSTRUCTIVO

La construcción de las obras portuarias suele tener un componente muy importante de hormigón armado. Es importante realizar una comparación de distintas soluciones para las obras, estableciendo un orden de prioridad, respecto de su contribución a la sustentabilidad, atendiendo a los siguientes criterios:

- El aumento de la vida útil.
- La reducción de las cantidades de materiales empleados, lo que no significa necesariamente un menor coste de la obra.
- El uso de un cemento, tal que su producción y suministro tenga el menor impacto ambiental posible, es decir, que en su fabricación se incorporen subproductos industriales, utilice procesos con bajo consumo de energía, minimizando las emisiones a la atmósfera y los residuos sólidos, en particular si son de difícil reutilización y sean transportados de la forma más eficiente.
- La producción de hormigón en plantas en las que se reduzca el consumo neto de agua, mediante sistemas de reciclado.
- El suministro de áridos contenga la mayor proporción de materiales reciclados.
- Los aceros que se utilicen para las armaduras procedan del reciclado de anteriores productos de hierro, que su obtención suponga la menor cantidad posible de emisiones gaseosas y de residuos no reutilizables.

- La calidad en la producción del hormigón esté garantizada mediante empresas de fabricación que cuenten con sistemas de calidad certificados.
- La calidad ambiental y las condiciones laborales del proceso constructivo sean tal que cuente con un plan adecuado de seguridad y salud de los operarios, un sistema de gestión de la productividad y eficiencia del proceso constructivo y una EIA.

IDENTIFICACIÓN DE LAS BUENAS PRÁCTICAS AMBIENTALES PARA LA EJECUCIÓN

Los aspectos ambientales para este caso pueden ser cuantificados a partir de un conjunto de criterios de valoración. La normativa [3] y [4] valoran once criterios que consideran tanto los distintos componentes del hormigón como los medios de elaboración y la gestión de los impactos y de los residuos. A partir de ellas se deduce una valoración, V1 a V11, y finalmente una para todo el conjunto estructural, denominada Índice de Sensibilidad Ambiental (ISA) de la estructura. La situación más favorable es que la empresa esté en posesión de un distintivo de calidad (ISO 14001). En ausencia de estos requisitos se puede tener en cuenta la existencia de un compromiso ambiental realizable. Esta calificación se puede atribuir a una organización si cumple ciertos requisitos:

- a.** Planta de hormigonera externa a la obra: Controlan documentalmente la gestión de residuos, emplean medios para reducir el impacto en el entorno.
- b.** Planta de hormigonado en obra: Controlan la gestión de residuos, reducir el impacto en el entorno, disponen de equipos para optimizar las dosificaciones del hormigón.
- c.** Instalación de prefabricación: Controlan documentalmente la gestión y reciclado de los residuos, emplean medios para minimizar el impacto en el entorno, optimizan las dosificaciones del hormigón, elaboran sus armaduras con sistema de gestión de residuos férricos o adquieren las armaduras con distintivo de calidad.
- d.** Instalación de montaje de armaduras ajena a la obra: Disponen de un distintivo de calidad oficial, emplean acero con distintivo de calidad.
- e.** Instalación de corte y doblado de armaduras en obra: Elaboran los despieces de armaduras optimizando las cantidades usadas, gestionan el reciclado de los residuos férricos, emplean medios para reducir el ruido.

f. Empresa constructora que realiza la puesta en obra del hormigón: Gestionan los rechazos y sobrantes de hormigón, impidiendo vertidos inadecuados, emplean medios para reducir el ruido y controlar vibraciones.

g. Constructor que realiza el montaje de las armaduras en obra: Controla y minimiza los residuos de acero a ser enviados para reciclar, dispone de zonas de acopio adecuadas para las armaduras.

h. Constructor que realiza el suministro de agua a la obra: Gestiona el consumo, evitando el derroche y la contaminación del agua.

Para los materiales que componen la obra, una cualidad importante es que hayan sido producidos cumpliendo los requisitos del Protocolo de Kyoto u otros protocolos internacionales, en relación con las emisiones al ambiente.

Materiales utilizados y consumos de recursos

A cada uno de los materiales que intervienen en el hormigón, sus procesos de fabricación y puesta en obra, se les atribuye una función representativa de calidad ambiental.

1) Empleo de residuos en el hormigón: Se sabe que es posible incorporar adiciones a la mezcla, que no perjudican el comportamiento del material endurecido y, en algunos casos, producen importantes beneficios. Esto permite una reducción del consumo de energía en la producción de clinker, la consiguiente disminución de emisiones y una adicional ventaja en la reutilización de los residuos incorporados a la mezcla. Estos productos son: cenizas volantes generadas por centrales térmicas de producción de energía eléctrica, y el humo de sílice, procedente de la producción de ferrosilicio.

Las cenizas volantes (y otras adiciones, como escorias de alto horno, puzolanas y materiales calizos) también pueden haber sido incorporadas al propio cemento, circunstancia que es evaluada en la función P_1 siguiente. En el caso de las adiciones al hormigón, la función representativa se determina con la expresión:

$$P_1 = \frac{1}{100} \frac{H}{100} (p_1\lambda_1 + p_2\lambda_2 + p_3\lambda_3)$$

Siendo p_1 la proporción de hormigón expresada en % respecto del total de hormigón fabricado en planta con adición de cenizas volantes, p_2 similar proporción de hormigón con humo de sílice y p_3 la proporción de hormigón fabricado a partir de cemento tipo I (con más del 95 % de clinker molido). La Tabla 3 indica los valores de los coeficientes λ_1 , λ_2 y λ_3 correspondientes y la Tabla 4, las posibles condiciones de la planta, para el caso de usar el cemento tipo I. El valor de H es el porcentaje de hormigón con distintivo de calidad, con adición de cenizas volantes o humo de sílice, calculado con respecto a la cantidad total de hormigón de la obra.

Tabla 3. Adiciones de residuos en el hormigón

| Calidad de la planta y del cemento | Tipo de adición a la mezcla | % de adición sobre peso de cemento | λ |
|---|---|------------------------------------|-----------|
| Planta de fabricación de hormigón con certificación ISO 14000 | Cenizas volantes | 12 | 22 |
| | | 24 | 44 |
| | | 35 | 65 |
| | Humo de sílice | 4 | 22 |
| | | 8 | 44 |
| | | 12 | 65 |
| Planta sin ISO 14000 | ----- | Cualquiera | 0 |
| Empleo de cemento tipo I (sólo clinker molido) | Según criterios establecidos en Tabla 4 | | 35 |

2) Calidad del cemento: Esta función tiene en cuenta las distintas calidades de cemento, desde el punto de vista ambiental. Se supone que se utilizan m tipos de cementos en cantidades c_j (expresadas en porcentaje del total). La calidad ambiental está representada por el valor del parámetro λ de la Tabla 4.

Tabla 4. Calidades ambientales del cemento

| Compromiso ambiental del fabricante | Descripción | Valor de λ |
|-------------------------------------|---|------------|
| Sin certificación | Sin registro EMAS ni de acuerdo con ISO 14001. No cumple el Protocolo de Kyoto (*) | 0 |
| Certificación ambiental | Certificado según ISO 14001 | 10 |
| | Registro EMAS con o sin Certificado ISO 140001 | 15 |
| Con Producto certificado | Cementos con hasta 20% de adiciones y distintivo de calidad | 35 |
| | Cementos con más de 20% de adiciones y distintivo de calidad | 50 |
| | Con distintivo de calidad cumpliendo el P. de Kyoto (*) | 20 |
| | Con distintivo de calidad que certifica que se minimiza el uso de combustibles fósiles o se emplean energías renovables | 15 |

(*) Otros Convenios Internacionales de Reducción de Emisiones a la Atmósfera

La función representativa se calcula con la expresión:

$$P_2 = \frac{1}{100} \frac{100 - H}{100} \cdot \sum_{j=1}^{j=m} c_j \cdot \lambda_j$$

Siendo H el porcentaje de hormigón fabricado en central, que se utiliza con distintivo de calidad y adición de cenizas volantes o humo de sílice.

3) Gestión del agua: Se valora en la puesta en obra del hormigón, empleando los valores de λ_i contenidos en la Tabla 5. Esta función es:

$$P_3 = \sum_{i=1}^5 \lambda_i$$

Tabla 5. Gestión de agua en la puesta en obra

| Medidas de ahorro de agua | λ |
|--|----|
| Constructor con compromiso ambiental | 20 |
| Constructor con distintivo ambiental según ISO 9001 | 40 |
| Medidas para reducir el consumo de agua de curado | 20 |
| Medidas para aprovechar el agua de lluvia o del subsuelo | 20 |
| Medidas para ahorro de agua en los puntos de consumo | 20 |

4) Reciclado de áridos: Se trata de considerar el uso de áridos reciclados en elementos de hormigón. Donde el porcentaje de hormigón con áridos reciclados es p y λ es el porcentaje de áridos reciclados que contiene la mezcla, la función representativa es:

$$P_4 = p \cdot \lambda$$

5) Calidad ambiental del acero de armaduras: Se valora la contribución ambiental de la producción de acero para armaduras que utilice como materia prima productos férricos (chatarras), y que a su vez recicle los subproductos que genera (escorias). La función representativa se puede establecer como:

$$P_5 = \frac{1}{100} \frac{A}{100} \sum_{j=1}^{j=5} p_j \cdot \lambda_j$$

Donde A es el porcentaje de acero con distintivo de calidad y los valores de p_j son los porcentajes de acero de las categorías que indica la Tabla 6, en la que se indican también los correspondientes valores de λ_j.

Tabla 6. Calidad del acero de armaduras

| Procesos de producción | Descripción | λ |
|--|-----------------|----|
| Sin certificación | | 0 |
| Certificación ambiental de la producción | Según ISO 14001 | 10 |

6) Optimización de la armadura necesaria: Se valoran las disposiciones de armaduras, mejorando la eficiencia y la simplificación del montaje en obra. Este criterio parte de porcentajes de armaduras que están realizadas con sistemas, cuyas valoraciones parciales se estiman con los parámetros λ_j cuantificados según la Tabla 7, mediante:

$$P_6 = \lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3 + \lambda_4$$

Tabla 7. Optimización de las armaduras

| Sistema | Porcentaje | Hormigón armado | | | | Hormigón pretensado | | |
|--|------------|-----------------|----------------|----------------|----------------|---------------------|----------------|----------------|
| | | λ ₁ | λ ₂ | λ ₃ | λ ₄ | λ ₁ | λ ₂ | λ ₃ |
| Pavimentos con malla electrosoldada | 0 | 0 | --- | --- | --- | 0 | --- | --- |
| | 20 | 7 | --- | --- | --- | 7 | --- | --- |
| | 40 | 14 | --- | --- | --- | 14 | --- | --- |
| | 60 | 21 | --- | --- | --- | 21 | --- | --- |
| | 80 | 28 | --- | --- | --- | 28 | --- | --- |
| | 100 | 34 | --- | --- | --- | 34 | --- | --- |
| Armaduras elaboradas con formas estandarizadas | 0 | --- | 0 | --- | --- | --- | 0 | --- |
| | 20 | --- | 7 | --- | --- | --- | 7 | --- |
| | 40 | --- | 14 | --- | --- | --- | 14 | --- |
| | 60 | --- | 21 | --- | --- | --- | 21 | --- |
| | 80 | --- | 28 | --- | --- | --- | 28 | --- |
| | 100 | --- | 34 | --- | --- | --- | 34 | --- |
| Sistema de unión | Soldadura | --- | --- | --- | 25 | --- | --- | 0 |
| | Mecánico | --- | --- | --- | 32 | --- | --- | 16 |

7) Elaboración y montaje de la armadura: Se considera la reducción de residuos y su reciclaje en las labores de formación de los conjuntos de armadura. Si los porcentajes de armaduras realizados en la obra, o procedentes de una instalación exterior a la obra, o contenidos en elementos prefabricados son p_1 , p_2 y p_3 , respectivamente, la función representativa es:

$$P_7 = \frac{1}{100}(p_1\lambda_1 + p_2\lambda_2 + p_3\lambda_3)$$

Donde los λ_i dependen del tipo de calidad ambiental de las empresas de elaboración de las armaduras y del Constructor y están indicados en la Tabla 8.

Tabla 8. Elaboración y montaje de armaduras

| Tipo de empresa | Calidad ambiental | Elabora en obra λ_1 | Exterior a la obra λ_2 | Piezas Prefabricadas λ_3 |
|-----------------------------|----------------------|-----------------------------|--------------------------------|----------------------------------|
| Elaboración en obra | Distintivo ambiental | 70 | ---- | ---- |
| | Compromiso ambiental | 30 | ---- | ---- |
| | Otros casos | 0 | ---- | ---- |
| Elaboración ajena a la obra | Distintivo ambiental | ---- | 80 | ---- |
| | Compromiso ambiental | ---- | 60 | ---- |
| | Otros casos | ---- | 30 | ---- |
| Constructor | Distintivo ambiental | 30 | 20 | 20 |
| | Compromiso ambiental | 15 | 10 | 10 |
| | Otros casos | 0 | 0 | 0 |

Control de la ejecución y generación de residuos

Se sabe por la experiencia de la actividad constructora que, en aquellas obras en que se realiza un minucioso control de los materiales y actividades, se produce un uso más racional de todos los suministros que se aportan y, por tanto una reducción de los residuos generados. Tratándose de estructuras de hormigón, la mejora de la calidad ambiental de las instalaciones de fabricación del hormigón es un componente importante en la generación de residuos. También el control de ejecución de los elementos estructurales tiene incidencia en la reducción de los mismos. Se evalúan ambos aspectos mediante funciones representativas P8 y P9.

1) Calidad ambiental de la planta de fabricación de hormigón: La calidad de las instalaciones donde se elabora el hormigón fresco tiene como objetivos:

- Disminuir la cantidad de residuos originados por la preparación de la mezcla.
- Fomentar el reciclaje de los residuos generados.
- Reducir el impacto de la puesta en obra del hormigón en el medio natural.

Tabla 9. Calidad ambiental de la central de fabricación de hormigón.

| Tipo de central | Calidad ambiental | Central Externa $\lambda_1, (\lambda'_1)$ | Central Externa $\lambda_2, (\lambda'_2)$ | Elementos Prefabricados $\lambda_3, (\lambda'_3)$ |
|-----------------|----------------------|---|---|---|
| Externa | Distintivo ambiental | 70 | --- | --- |
| | Compromiso ambiental | 40 | --- | --- |
| | Otros casos | 15 | --- | --- |
| En obra | Distintivo ambiental | --- | 70 | --- |
| | Compromiso ambiental | --- | 30 | --- |
| | Otros casos | --- | 0 | --- |
| Constructor | Distintivo ambiental | (30) | (30) | (20) |
| | Compromiso ambiental | (15) | (15) | (10) |
| | Otros casos | (0) | (0) | (0) |

Entre paréntesis los valores λ' correspondientes al Constructor

La función representativa de estos aspectos se puede evaluar mediante la expresión:

$$P_8 = \frac{1}{100}[p_1(\lambda_1 + \lambda'_1) + p_2(\lambda_2 + \lambda'_2) + p_3(\lambda_3 + \lambda'_3)]$$

Donde p_1 es la proporción de hormigón preparado en una central externa (respecto del total de hormigón), p_2 la proporción de hormigón preparado en una central de la obra, y p_3 la proporción de hormigón de elementos prefabricados. Los valores de λ y λ' corresponden a cada uno de los tres casos, dependen de la calificación ambiental de la planta para hormigón y la del Constructor y están indicados en la Tabla 9.

2) Control de ejecución: Se valora la intensidad y rigurosidad con que se realiza el control en la obra. Se considera que este control es intenso si la Dirección de Obra realiza los siguientes controles:

- Documental de la conformidad de los productos que se suministren a la obra, (especialmente del hormigón), comprobando si están en posesión de distintivos de calidad o realizando las comprobaciones, mediante ensayos en laboratorios independientes oficialmente cualificados.

- De ejecución de la obra portuaria mediante la comprobación por lotes de los distintos tipos de elementos estructurales (cimentaciones, muros, pilares, vigas, depósitos, etc.) que componen la obra y, de cada uno de ellos, los encofrados, las armaduras y su disposición y montaje (separaciones, recubrimientos, etc.), las operaciones de pretensado, el acabado de la superficie de hormigón, los distintos tipos de juntas y las operaciones de desmoldado.
- De la estructura acabada, verificando que se cumplen las tolerancias geométricas establecidas para los distintos elementos y para el conjunto estructural.

Si p_1 , p_2 y p_3 son las proporciones, expresadas en porcentaje, de hormigón de la obra en las condiciones que se indican en la Tabla 10 y λ_1 , λ_2 y λ_3 son las valoraciones que aparecen en la misma tabla, la función representativa es en este caso:

$$P_9 = \frac{1}{100}(p_1\lambda_1 + p_2\lambda_2 + p_3\lambda_3)$$

Tabla 10. Control de la ejecución de la obra

| Características del control de ejecución | λ |
|--|-----------|
| Hormigón fabricado in-situ, con hormigonera de poca capacidad | 0 |
| Hormigón fabricado en central. No hay control intenso de ejecución | 65 |
| Hormigón fabricado en central. Se realiza control intenso de ejecución | 100 |

Tratamiento de los residuos generados

Las medidas que se adoptan en la obra para controlar la limpieza de la misma y las emisiones de partículas de polvo, así como la gestión de los productos y residuos de otro tipo dan lugar a dos nuevas funciones representativas.

1) Control de polvo generado: Se valoran las medidas que toma la obra para controlar o eliminar la formación de material particulado que se emiten en distintas operaciones. La función representativa P_{10} se corresponde en este caso con la expresión:

$$P_{10} = \sum_{i=1}^5 \lambda_i$$

Donde los valores de λ_i a sumar son los que se indican en la Tabla 11, según las medidas de control de la generación de polvo adoptadas en la obra.

Tabla 11. Control del polvo generado

| Medidas adoptadas | λ |
|---|-----------|
| Empleo de aspersores en la obra para evitar el polvo | 20 |
| Pavimentación de accesos o limpieza de neumáticos | 20 |
| Empleo de pantallas u otros dispositivos de retención de polvo | 20 |
| Empleo de estabilizantes químicos para reducir la producción de polvo | 20 |
| Uso de láminas de cobertura en acopios materiales a la intemperie y en transporte | 20 |

2) Gestión de los residuos sólidos y líquidos: Este ítem está relacionado con la contaminación del suelo y de los cursos de agua. Los efluentes cloacales deben tener un tratamiento antes de ser vertidos al ambiente; en obras portuarias donde exista una red se recomienda que la obra esté conectada a la misma. Se deberá tener en cuenta es la gestión de los aceites y lubricantes en desuso, que deben ser reciclados o tener una disposición final en vertederos adecuados para este fin. La función representativa de esta gestión es:

$$P_{11} = \lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3 + \lambda_4 + \lambda_5$$

Donde los valores de λ_i son los indicados en la Tabla 12, según los distintos residuos gestionados, su proporción y otras condiciones.

Impacto ambiental

Con el fin de establecer una valoración relativa de los once criterios anteriores, a partir de sus funciones representativas, se pueden obtener unos coeficientes de valor V_1 hasta V_{11} para cada uno de ellos, utilizando la siguiente expresión:

$$V_i = K_i (1 - e^{-R_i}) \quad \text{con} \quad R_i = m_i \left(\frac{P_i}{n_i} \right)^{A_i}$$

Donde P_i son los valores de cada una de las once funciones representativas anteriores y los coeficientes K_i , m_i , n_i y A_i están indicados en la Tabla 13.

Tabla 12. Gestión de los residuos sólidos y líquidos

| Residuos | | Medidas | | λ_1 | λ_2 | λ_3 | λ_4 | λ_5 | |
|--|--|--|------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-----|
| Productos de movimientos de suelo de zonas costeras, excavación de pilotes y dragado | Porcentaje reciclado. Resto a vertedero | 20% | 5 | --- | --- | --- | --- | --- | |
| | | 40% | 10 | --- | --- | --- | --- | | |
| | | 60% | 15 | --- | --- | --- | --- | | |
| | | 80% | 20 | --- | --- | --- | --- | | |
| | | 100% | 25 | --- | --- | --- | --- | | |
| | Enviar todo a vertedero | 3 | --- | --- | --- | --- | | | |
| Residuos de construcción y demolición | Porcentaje reciclado. Resto a vertedero | 20% | --- | 8 | --- | --- | --- | --- | |
| | | 40% | --- | 16 | --- | --- | --- | --- | |
| | | 60% | --- | 24 | --- | --- | --- | --- | |
| | | 80% | --- | 32 | --- | --- | --- | --- | |
| | | 100% | --- | 40 | --- | --- | --- | --- | |
| | Enviar todo a vertedero | --- | 5 | --- | --- | --- | --- | | |
| Reducción de residuos de azufre | Hormigón sin distintivo de calidad | Porcentaje de hormigón controlado con probetas cilíndricas | 0% | --- | --- | 0 | --- | --- | --- |
| | | | 20% | --- | --- | 2 | --- | --- | --- |
| | | | 40% | --- | --- | 4 | --- | --- | --- |
| | | | 60% | --- | --- | 6 | --- | --- | --- |
| | | | 80% | --- | --- | 8 | --- | --- | --- |
| | | | 100% | --- | --- | 10 | --- | --- | --- |
| | Porcentaje de hormigón con distintivo de calidad | 33% | Cilíndrica | --- | --- | --- | 3 | --- | --- |
| | | 67% | Cilíndrica | --- | --- | --- | 7 | --- | --- |
| | | 100% | Cilíndrica | --- | --- | --- | 10 | --- | --- |
| | | | | --- | --- | --- | 10 | --- | --- |
| Residuos líquidos | Residuos cloacales | Existe un tratamiento previo a su vertido | --- | --- | --- | --- | --- | 15 | |
| | Aceites y lubricantes | Existe un proceso de gestión certificado | --- | --- | --- | --- | --- | 10 | |

Tabla 13. Coeficientes para la valoración de cada criterio

| Criterio ambiental | i | K_i | m_i | n_i | A_i |
|--|-----|-------|--------|-------|-------|
| Empleo de residuos en el hormigón | 1 | 10.50 | -0.001 | 1 | 1.0 |
| Calidad ambiental del cemento | 2 | 10.50 | -0.001 | 1 | 1.0 |
| Gestión del agua | 3 | 1.10 | -0.400 | 50 | 2.6 |
| Reciclado de áridos | 4 | 1.10 | -0.200 | 2 | 1.1 |
| Calidad ambiental del acero de armaduras | 5 | 10.50 | -0.001 | 1 | 1.0 |
| Optimización de la armadura necesaria | 6 | 1.06 | -0.450 | 35 | 2.5 |
| Elaboración y montaje de las armaduras | 7 | 1.02 | -0.500 | 50 | 3.0 |
| Calidad ambiental de la planta de fabricación del hormigón | 8 | 1.02 | -0.500 | 50 | 3.5 |
| Control de ejecución | 9 | 1.05 | -1.800 | 40 | 1.2 |
| Control del polvo generado | 10 | 10.50 | -0.001 | 1 | 1.0 |
| Gestión de los residuos sólidos y líquidos | 11 | 1.21 | -0.400 | 40 | 1.6 |

Como resumen de todo ello, se define como Índice de Sensibilidad Ambiental (ISA) de una estructura portuaria, al parámetro obtenido de aplicar la siguiente expresión:

$$ISMA = \sum_{i=1}^{i=11} \alpha_i \cdot \beta_i \cdot \gamma_i \cdot V_i$$

A partir de la cual puede cuantificarse el Índice de Contribución de la Estructura a la Sustentabilidad (ICES) en fase de construcción. Los parámetros α_i , β_i y γ_i para cada uno de los once criterios ambientales están indicados en la Tabla 14.

Tabla 14. Coeficientes de ponderación para el cálculo del ISA

| Criterio ambiental | l | α_i | β_i | γ_i |
|---|-----|------------|-----------|------------|
| Empleo de residuos en el hormigón | 1 | 0.6 | 0.45 | 0.17 |
| Calidad ambiental del cemento | 2 | 0.6 | 0.45 | 0.50 |
| Gestión del agua | 3 | 0.4 | 0.75 | 0.33 |
| Reciclado de áridos | 4 | 0.6 | 0.45 | 0.33 |
| Calidad ambiental del acero de armaduras | 5 | 0.6 | 0.33 | 0.33 |
| Optimización de la armadura necesaria | 6 | 0.6 | 0.33 | 0.17 |
| Elaboración y montaje de las armaduras | 7 | 0.6 | 0.22 | 0.50 |
| Calidad ambiental de la central de fabricación del hormigón | 8 | 0.6 | 0.22 | 0.50 |
| Control de ejecución | 9 | 0.6 | 0.33 | 0.50 |
| Control del polvo generado | 10 | 0.4 | 0.25 | 1.00 |
| Gestión de los residuos sólidos y líquidos | 11 | 0.4 | 0.75 | 0.67 |

CONTROL DE PREVENCIÓN DURANTE LA CONSTRUCCIÓN

El control del cumplimiento de las disposiciones del proyecto y sus modificaciones, si fueran necesarias, en lo relativo a la durabilidad y sustentabilidad será llevado a cabo por la Dirección de Obras, en representación de la Propiedad.

Controles para la durabilidad y calidad del hormigón

Se deberán contemplar los controles que aseguren el cumplimiento de los requisitos de durabilidad previstos en el proyecto y contractualmente comprometidos, por parte del Constructor. Si este posee un Sistema de Control de Calidad propio acreditado, pueden reducirse las actividades de control, por parte de la Dirección de Obra.

Desde el punto de vista de la calidad deben controlarse los suministros. Si el hormigón es preparado en la obra se deberá comprobar, desde el punto de vista de la durabilidad:

- Tipo de cemento usado, Naturaleza de los áridos (no heladizos), su limpieza y su compatibilidad con el cemento.
- Dosificación adecuada para obtener un hormigón compacto, especialmente la relación agua/ligante (cemento + adiciones).
- Ausencia de elementos finos de naturaleza arcillosa (equivalente de arena).
- Agua de amasado sin contenido de sustancias perjudiciales.

- Adiciones al cemento y al hormigón que no produzcan efectos secundarios negativos. Es conveniente la realización de ensayos previos.
- Contenido total de iones cloruros dentro de los límites exigidos por CIRSOC.
- Control de la calidad del hormigón especificado en el cálculo, por ejemplo, mediante el Cono de Abrams y realizar probetas para, posteriormente, ensayarlas a rotura. Verificar que los aditivos no estén vencidos.
- Ensayos de absorción o de permeabilidad al agua del hormigón bajo presión.
- En caso de existir riesgo de heladas se debe controlar la existencia de un mínimo contenido de aire ocluido (generalmente del orden de un 5%).

Si el hormigón está preparado en una planta externa, se deberán exigir los mismos controles anteriores, salvo que la instalación disponga de un sistema de control de calidad certificado que garantice las anteriores propiedades. Se pueden aplicar protecciones especiales sobre la superficie del hormigón o por procedimientos especiales, como el empleo de la protección catódica de las armaduras.

Control de los encofrados, posición de las armaduras y colocación del hormigón

La Dirección de Obra debe realizar una serie de controles, vinculados con la geometría y estanqueidad de los mismos. Los principales controles que tienen influencia sobre factores relacionados con la durabilidad son de:

- la indeformabilidad de los encofrados y de la rigidez de los apuntalamientos, para prevenir desplazamientos de los mismos, que variarían los recubrimientos de diseño, pudiendo generar cambios en el comportamiento mecánico.
- la secuencia de desencofrado, tal es el caso de ciertas estructuras pretensadas.
- el apuntalamiento y arriostramientos de los encofrados. Se debe realizar en todas las obras, no obstante, tiene una especial importancia en lugares donde la obra está expuesta a fuertes vientos y/o sismos. Conviene mantener arriostramientos, ante acciones horizontales, hasta que el hormigón tenga la resistencia adecuada.

Para el control de la colocación del hormigón, la Dirección de Obra establecerá un programa de controles que incluirá:

- Limpieza del interior de los encofrados.
- Idoneidad de los productos desencofrantes.
- Segregación durante el transporte del hormigón desde la planta.
- Edad del hormigón fresco en el momento del vertido.

- Vertido de hormigón: altura para que no se produzca segregación en la pasta.
- Sistema de compactación, generalmente vibrado. Dimensión de las agujas, distancia entre puntos de vibrado y duración del vibrado en cada uno de ellos.
- Protección del hormigón una vez vertido, para evitar la acción de la lluvia, las bajas temperaturas, viento y/o calor excesivos.
- Tratar de no interrumpir el proceso de hormigonado. En caso de tener que cortarlo, tenerlo previsto antes de comenzar a hormigonar, haciéndolo en zonas no críticas y cuando se reinicie limpiar bien la superficie y colocar algún aditivo para mejorar la adherencia entre el hormigón fresco y el existente.

También se trata de asegurar que se respeten los espesores de recubrimiento diseñados. Los principales controles son:

- Sujeción del conjunto de la armadura, para evitar que se produzcan movimientos durante el vertido del hormigón.
- Control de que no se aplica vibración a las armaduras, ni se fuerza ningún movimiento de las armaduras durante el vertido.
- Número, dimensión y posición de los separadores entre la armadura y la cara del encofrado, para asegurar los espesores de la capa de recubrimiento.
- Material de separadores: preferiblemente de mortero de cemento igual al hormigón.
- Verificar que no existe ningún elemento metálico que vaya a sobresalir de la superficie del hormigón.

Control de la superficie acabada

Para ello es imprescindible conseguir una buena calidad en el hormigón de la capa de recubrimiento, que protege las armaduras. Las comprobaciones más importantes son:

- Presenciar del desencofrado, para evitar daños en la superficie del hormigón con herramientas o palancas.
- Reparaciones en caso de que se produzcan agarres del encofrado, que arranquen parte del recubrimiento o aparezcan nidos en la superficie.
- Curado del hormigón, especialmente en edades tempranas.
- Existencia de elementos metálicos sobresaliendo del interior de la pieza.

Controles para la sustentabilidad

Durante el periodo de ejecución, es necesario verificar que el Constructor cumpla con los requisitos ambientales contenidos en las especificaciones del proyecto. La Dirección de Obra comprobará los siguientes aspectos que sean de aplicación:

- La inclusión de la gestión de los residuos en la planificación general de las actividades de la obra.
- Se supervisarán los subcontratos del Constructor, de forma que se incluya en ellos los requisitos ambientales requeridos para cada actividad.
- El conocimiento de los requisitos ambientales por todo el personal de la obra, incluidos el personal de los subcontratistas.
- La existencia de una red de aprovisionamiento de energía eléctrica compatible con los consumos necesarios, evitando el empleo de grupos autónomos de generación.
- El uso de maquinaria que genere la menor cantidad posible de ruido, emisiones de gases de combustión y material particulado.
- En lugares poblados, las emisiones sonoras de la obra deben respetar los niveles máximos y horarios fijados por las normativas locales.
- En caso de tener que realizar demoliciones, la existencia de una planificación de los tipos y cantidades de los residuos generados y su retirada o reutilización.
- La existencia de un plan para la reutilización de los encofrados y los sistemas de reparación o sustitución de las partes inservible.
- El período mínimo de curado húmedo, contado a partir del momento de la colocación del hormigón, será:

Hormigones de altas prestaciones: tres días.

Hormigones realizados con cementos Pórtland normal, moderada y altamente resistente a los sulfatos, sin adiciones: siete días. Hormigones realizados con cemento puzolánico y de bajo calor de hidratación, cuando la edad de diseño sea superior a veinte y ocho días: catorce días.

- Las instalaciones de plantas de hormigón, seleccionadoras de áridos, etc., deberán asegurar una reducida emisión de ruido, gases, residuos sólidos y líquidos y material particulado. Cuando estén instaladas en o próximas a las áreas urbanas, deberán operar en horarios diurnos. [6]
- Se debe limitar al máximo la posibilidad de escapes de combustibles y lubricantes, al suelo o al mar, para ello hay que acondicionar los lugares donde se los emplea.
- Contar con equipos para extinción de incendios y materiales para primeros auxilios.

CONCLUSIONES

Como se ha podido apreciar en este trabajo es posible mejorar la sustentabilidad de las obras portuarias, teniendo beneficios no solo para el ambiente, sino al aumentar la vida útil de las construcciones, también para los propietarios, sin por ello encarecer significativamente los costos de construcción, sino que en gran parte de las recomendaciones aquí presentadas hacen a las reglas del buen arte de la industria de la construcción.

La aplicación del Índice de Sustentabilidad Ambiental aquí presentado, permite cuantificar cuan sustentable es una construcción de hormigón, en este caso portuaria, con una metodología relativamente simple.

REFERENCIAS

- [1] Norma ISO 14001, 2004. Sistemas de Gestión Ambiental Requisitos con orientación a su uso. International Organization for Standardization (ISO).
- [2] Norma ISO 9001, 2008. Gestión de Calidad orientada a la satisfacción del cliente. International Organization for Standardization (ISO).
- [3] Instrucción de Hormigón Estructural (EHE-08), 2008. Ministerio de Fomento. Gobierno de España.
- [4] García Andion, L.; Ortega, N.F., 2010. Prevención Durante la Construcción. Capítulo contenido en un libro que esta revisión, previa a su publicación, realizado por la Red PREVENIR, CYTED, Madrid.
- [5] Fib Bulletin 44: Concrete structure management, 2008. Guide to ownership and good practice. International Concrete Federation.
- [6] Dirección Nacional de Vialidad, 2007. Manual de evaluación y gestión ambiental de obras viales (Mega II). Dirección Nacional de Vialidad. Buenos Aires.

Desarrollo de criterios ecológicos para la conservación de mamíferos terrestres en península Valdés

RESUMEN

Se estableció una línea de base sobre la existencia, distribución y estado de conservación de los mamíferos terrestres que habitan el Área Natural Protegida Península Valdés (ANP-PV) y sus amenazas principales, proponiéndose medidas de conservación para un manejo sustentable de los mismos. Se hizo un extenso compilado y revisión de la información publicada e inédita. Se realizaron entrevistas a los pobladores rurales para obtener información referente a distribución, abundancia y aspectos perceptivos de medianos y grandes mamíferos. El relevamiento de los micromamíferos se hizo mediante trampeos y análisis de egagrópilas de rapaces. Se determinó la existencia de 24 especies de mamíferos nativos, se calculó el valor conservativo para cada una de ellas y se identificaron las principales amenazas que se presentan en el área. A partir del valor conservativo y de las amenazas se obtuvo un mapa de conflictividad identificando aquellas áreas prioritarias para concentrar los esfuerzos de conservación dentro del ANP-PV. El desarrollo de criterios ecológicos para la conservación de una fauna muy singular en una de las escasas áreas protegidas áridas que existen en el mundo, aporta a un cambio en la visión de las prioridades de conservación. Se plantearon una serie de recomendaciones cuya implementación necesita de una fuerte decisión política por parte del gobierno provincial, fortalecimiento técnico y apoyo científico a los responsables del manejo del área y una actividad co-participativa por parte de la población residente. Los resultados de este trabajo permitieron formular hipótesis sobre los mecanismos probables que operan en la conservación de los mamíferos terrestres del ANP-PV.

M. J. Nabte (1,2)

1 Centro Nacional Patagónico, Boulevard Alte. Brown 2915, CP 9120, Puerto Madryn, Chubut, Argentina

2 Facultad de Ciencias Naturales, Universidad Nacional de la Patagonia San Juan Bosco, Sede Puerto Madryn, Boulevard Alte. Brown 3700, CP 9120, Puerto Madryn, Chubut, Argentina

nabte@cenpat.edu.ar

INTRODUCCIÓN

La clásica argumentación de la ecología tropical que relaciona prioridades para la conservación con la riqueza de especies silvestres [1] es inadecuada para la Patagonia, cuyos principales méritos pasan por la rareza y la singularidad. La Patagonia *sensu lato* (en el sentido definido en [2]), contiene 77 especies, agrupadas en 46 géneros, 17 familias y 8 órdenes [3]. La probabilidad de que al extinguirse una especie se extinga un género, una familia o un orden entero es altísima en comparación con faunas tropicales. Las consecuencias de una extinción unitaria en términos de funciones ecosistémicas que se pierden es -por lo mismo- muy elevada en términos relativos.

El Área Natural Protegida-Península Valdés (ANP-PV) es un área muy pequeña si se compara con la extensa región de la Patagonia extra-andina (ca. 750.000 km²). Sin embargo, el conocimiento que se tiene del ensamble de mamíferos que la habita es pobre, a pesar de que se cuenta con varios trabajos que abordan distintas temáticas [e.g. 4, 5, 6, 7, 8, 9].

A pesar de los aportes hechos hasta el momento, aún quedan grandes vacíos de información. La mayor parte de los trabajos aquí reportados fueron realizados en áreas muy cercanas a los caminos principales de fácil acceso, dejando sin relevar una porción significativa de la misma. Los micromamíferos del ANP-PV comprenden, seis especies de roedores sigmodontinos, tres roedores caviomorfos, un marsupial y dos quirópteros. En cuanto a la meso y macrofauna de mamíferos, la lista se compone de una especie de artiodáctilo, ocho especies de carnívoros, dos de armadillos y una especie de roedor de tamaño mediano, la mara.

El ANP-PV resulta relevante de ser estudiada por varios motivos. De acuerdo a la clasificación de unidades de conservación de la Unión Mundial para la Naturaleza (UICN), el ANP-PV ha sido categorizada como VI (Área Protegida con Recursos Manejados). El desarrollo de criterios ecológicos para la conservación en un área de usos múltiples aporta directamente al nuevo paradigma de manejo de áreas protegidas que está emergiendo en el mundo: áreas protegidas con beneficios para los pueblos. Entre otras, el desarrollo de criterios ecológicos para la conservación de una fauna muy singular en una de las escasas áreas protegidas áridas que existen en el mundo, aporta a un cambio de rumbo, o al menos a una mayor amplitud de criterios en el paradigma "tropical" vigente en la biología de la conservación [10] y a su correspondiente y tropicalizado mecanismo de financiamiento nacional e internacional.

El objetivo central de este trabajo fue establecer una línea de base sobre la existencia, distribución y estado de conservación de los mamíferos terrestres que habitan el ANP-PV y sus amenazas principales, proporcionando las medidas de conservación necesarias para un manejo sustentable de los mismos.

MATERIALES Y MÉTODOS

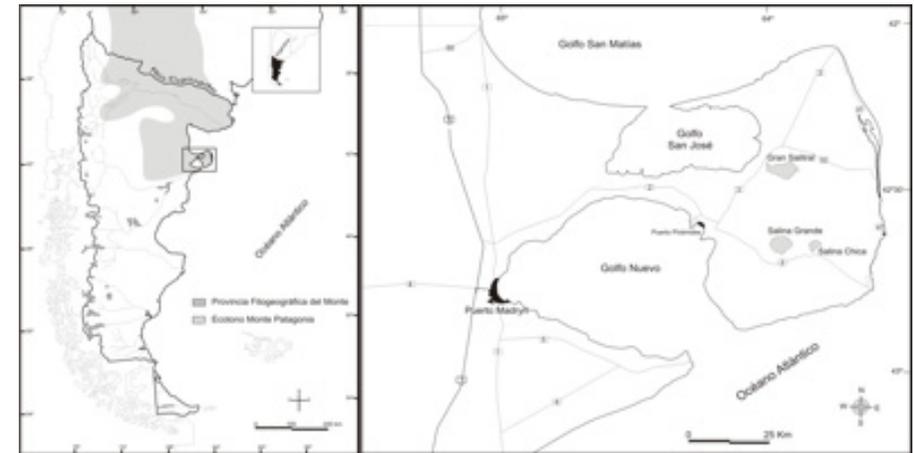
Área de estudio

El Área Natural Protegida Península Valdés se encuentra emplazada en el noreste de la Provincia de Chubut, Argentina. Con sus 400.000 ha se encuentra situada entre los 42° y 42° 45' de latitud S y los 63° 35' y 65° 17' de longitud O. Los límites actuales del ANP-PV, establecidos por Ley Provincial N° 2161, artículo 4, son: norte y noroeste: el Golfo San Matías; noreste, este y sudeste el Océano Atlántico; suroeste y sur el Golfo Nuevo; los límites continentales del sector oeste y sudoeste la conforman la Ruta Nacional N° 3 y la Ruta Provincial N° 4 respectivamente. Esta última desemboca en el norte de la ciudad de Punta Madryn. Se accede al ANP-PV por la Ruta Provincial N° 2 la cual llega hasta Punta Delgada y desde allí hacia el norte la Ruta Provincial N° 47 conecta con la Unidad Operativa Punta Norte. Desde Punta Norte, la Ruta Provincial N° 3 vuelve a tomar contacto con la Ruta Provincial N° 2 en el área central de la Península (Figura 1).

Obtención de los datos

Para obtener los mapas de distribución y abundancias relativas para cada una de las especies de mamíferos terrestres del área se recurrió al empleo de una gama variada de metodologías que se describen a continuación:

Figura 1: Ubicación geográfica del ANP-PV y sectores contiguos (Chubut, Argentina).



a- Encuestas: se realizaron encuestas mediante entrevistas a los pobladores rurales para obtener información referente a distribución, abundancia relativa y aspectos perceptivos de medianos y grandes mamíferos. La unidad de muestreo fue cada uno de los cuadros en los que se divide una estancia destinada a la explotación extensiva ovina.

b- Egagrópilas: las tareas de prospección para la detección de las egagrópilas fue realizada a partir de información brindada por los pobladores rurales encuestados.

c- Trampeos: se colocaron trampas de caída de modo tal de cubrir la variedad de ambientes florísticos dominantes en el ANP-PV [11]. Estas trampas fueron activadas durante un año y medio. También se realizaron muestreos de micromamíferos (roedores y marsupiales) mediante la instalación de grillas transitorias de trampas de captura viva (tipo Sherman) y trampas de golpe (snap) activadas durante tres noches consecutivas. Los muestreos de quirópteros se llevaron a cabo mediante la instalación de redes de neblina. Se utilizaron redes de neblinas de ocho por tres metros colocadas en galpones utilizados por los pobladores como depósitos.

Las muestras de egagrópilas fueron disectadas en húmedo usando técnicas estándar [e.g. 12, 13, 14]. Se registró el número de presas y el número de taxones por muestra. Los ejemplares capturados por trampeo fueron procesados y para cada uno de los ejempla-

res se tomaron medidas estándares [15]. En los casos que fue posible se taxidermizaron las pieles y adicionalmente se preservaron los esqueletos. Los ejemplares fueron determinados al máximo nivel de resolución taxonómica posible mediante comparación con material de referencia y mediante claves disponibles en la bibliografía [16]. Asimismo, la abundancia absoluta de cada ítem presa provenientes de egagrópilas fue establecida mediante el cómputo del número mínimo de individuos (MNI). Se cuantificaron los elementos craneanos homólogos más abundantes en función de su lateralidad (derechos o izquierdos).

Metodología de asignación cuantitativa de valor conservativo.

Para el cálculo del valor conservativo se han utilizado dos índices. El primer índice de calificación se denomina SUMIN [17] y resulta de la sumatoria de 12 variables Prelevantes para la supervivencia y conservación de las especies. Dado que el método lo permite, fueron adicionados al SUMIN tres variables con el propósito de determinar el estado de conservación local (SUMINLOC) de las especies en el área de estudio [18]. El segundo índice de calificación se denomina Valor conservativo específico (Vce) [19]. Estos autores establecen un criterio de valoración el cual combina en una única fórmula los estándares internacionales de prioridades para la conservación (Red List de UICN), con los nacionales (libros rojos, Índice de Reza, etc.) y tipos de rareza.

Tratamiento de los impactos

Un impacto es una presión que provocó o está provocando una transformación tangible en el medio receptor del impacto (e.g. en una especie o en un hábitat). Los impactos tienen intensidad, duración y extensión. Lo que más nos importa es la intensidad y la extensión, ya que la duración es muy difícil de determinar, por lo que la consideramos constante. A la intensidad le asignamos un valor numérico y a la extensión la mapeamos. La asignación de la intensidad de los distintos impactos va entre 2 y 8. La intensidad podemos definirla como el grado de modificación que el impacto ha ocasionado sobre el medio receptor del impacto. La intensidad máxima es 8, que lo podemos reservar para aquellos casos de transformación total, es decir, cuando no queda nada del ambiente anterior al impacto (e.g. un camino, un playón de cemento o un bosque de pinos, una huerta, cultivos, un pozo, una inundación). El impacto menor adopta el valor 2, que es una transformación potencialmente pequeña y/o que no sabemos de sus efectos nocivos, como por ejemplo el ruido o la polvareda de los autos, el paso de un avión o de una lancha (que en caso de apostaderos de aves es más grave), o la presencia de turistas

sobre un sendero. El impacto 4 y el 6 son intermedios, provocan transformación en el medio receptor sin modificar su naturaleza, por ejemplo la ganadería extensiva, la cacería controlada, los bordes de los caminos, el turismo descontrolado. Es decir, un nivel 2, 4 y 6 transforman el ecosistema pero no al punto de reemplazar un ecosistema por otro. Para algunos impactos (e.g. caminos, asentamientos humanos, alambrados) se les ha asignado una zona buffer. Esta zona representa hasta dónde un determinado impacto afecta al ensamble de mamíferos terrestres del ANP-PV [20].

RESULTADOS

A partir de la información obtenida se generaron mapas de distribución y densidad relativa para las 24 especies comprendidas en este estudio [21], información por demás relevante para poder calcular el valor conservativo de cada uno de los mamíferos terrestres que habita el ANP-PV.

Ranking de valor conservativo de los mamíferos.

En la Tabla I se presentan las especies ordenadas según su valor de conservación obtenido de multiplicar el valor de SUMINLOC por el Vce. La combinación del índice SUMINLOC con el índice de valoración conservativa (Vce) nos permitió tener una muy buena aproximación del estado de conservación de las especies dentro del ANP-PV.

Las dos especies que presentaron los valores de conservación más altos (*Lyncodon patagonicus* y *Pseudalopex culpaeus*) se encuentran prácticamente extintas en el área de estudio. Les siguen *Dolichotis patagonum* y *Zaedyus pichiy*, dos especies cuyas poblaciones han ido disminuyendo en el área en los últimos años de acuerdo al testimonio de los pobladores rurales.

A partir de los valores de la Tabla I (página siguiente) se obtuvo un mapa único de valoración conservativa para las 24 especies de mamíferos terrestres bajo estudio (Figura 2). El mapa de valoración conservativa determina áreas más importantes para la conservación que otras. Sin embargo, la interacción de este mapa con los mapas de intensidad de impactos (ver más adelante) nos brindará un panorama más acabado de aquellas áreas prioritarias para concentrar los esfuerzos de conservación dentro del ANP-PV en cuanto a mamíferos terrestres se refiere.

Tabla I: Lista de los mamíferos terrestres del ANP-PV y el valor de Vce*SUMINLOC.

| Especies | Vce | SUMINLOC | Vce*SUMINLOC |
|--------------------------------------|-----|----------|--------------|
| 1- <i>Lyncodon patagonicus</i> | 80 | 14 | 1120 |
| 2- <i>Pseudalopex culpaeus</i> | 42 | 18 | 756 |
| 3- <i>Dolichotis patagonum</i> | 30 | 20 | 600 |
| 4- <i>Zaedyus pichiy</i> | 33 | 16 | 528 |
| 5- <i>Ctenomys cf C. haigi</i> | 33 | 14 | 462 |
| 6- <i>Puma concolor</i> | 30 | 14 | 420 |
| 7- <i>Galea musteloides</i> | 42 | 10 | 420 |
| 8- <i>Leopardus colocolo pajeros</i> | 27 | 15 | 405 |
| 9- <i>Microcavia australis</i> | 39 | 10 | 390 |
| 10- <i>Akodon molinae</i> | 33 | 10,5 | 346,5 |
| 11- <i>Tadarida brasiliensis</i> | 30 | 11 | 330 |
| 12- <i>Histiotus montanus</i> | 27 | 11 | 297 |
| 13- <i>Lama guanicoe</i> | 24 | 10,5 | 252 |
| 14- <i>Conepatus humboldtii</i> | 27 | 9 | 243 |
| 15- <i>Leopardus geoffroyi</i> | 24 | 10 | 240 |
| 16- <i>Akodon iniscatus</i> | 30 | 8 | 240 |
| 17- <i>Thylamys pallidior</i> | 30 | 7,5 | 225 |
| 18- <i>Chaetophractus villosus</i> | 30 | 7,5 | 225 |
| 19- <i>Galictis cuja</i> | 24 | 9 | 216 |
| 20- <i>Reithodon auritus</i> | 30 | 7 | 210 |
| 21- <i>Graomys griseoflavus</i> | 27 | 6,5 | 175,5 |
| 22- <i>Calomys musculus</i> | 27 | 6,5 | 175,5 |
| 23- <i>Eligmodontia typus</i> | 27 | 6 | 162 |
| 24- <i>Pseudalopex griseus</i> | 21 | 6 | 126 |

En el ANP-PV coexisten varias actividades y cada una de ellas trae aparejado distintos tipos de impactos. En la Tabla II se detallan los principales impactos que visualizamos en el área de estudio con sus respectivos valores de intensidad y para cada uno de ellos se ha generado un mapa donde se grafica la extensión del impacto [Figura 3 a 14].

Superposición de impactos con los objetos de conservación.

A partir de la superposición del mapa de valoración conservativa (Figura 2) y los mapas de impactos (Figura 3 a 14) se obtuvo como resultado un mapa de conflictos para la conservación dentro del ANP-PV (Figura 15). De este modo, se obtuvo un producto que sirve de orientación en la toma de decisiones e inversiones en conservación [21].

Figura 2: Valor conservativo (Vce*SUMINLOC) por cuadro representado en tres categorías para el ANP-PV.

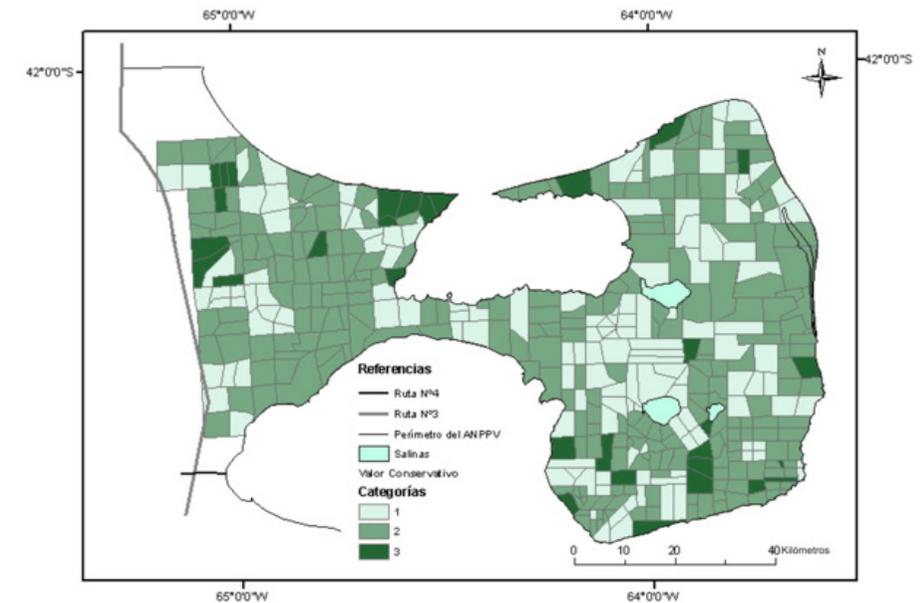


Tabla II: Valoración cuantitativa para los distintos impactos que se registran en el ANP-PV.

| IMPACTO | INTENSIDAD |
|---|------------|
| 1 Camino Tipo 1 | 8 |
| 2 Camino Tipo 2 | 8 |
| 3 Camino Tipo 3 | 8 |
| 4 Atropello camino Tipo 1 (Ruta asfálticas) | 6 |
| 5 Atropello camino Tipo 2 (Camino de ripio primario-rutas de ripio) | 4 |
| 6 Atropello camino Tipo 3 (Camino de ripio secundario) | 2 |
| 7 Alambrados | 8 |
| 8 Carga Ovina (0-0,429 ovinos/hectárea) | 2 |
| 9 Carga Ovina (0,43-0,86 ovinos/hectárea) | 4 |
| 10 Carga Ovina (0,87-4.0 ovinos/hectárea) | 6 |
| 11 Cacería | 2 |
| 12 Envenenamiento | 4 |
| 13 Especies exóticas | 4 |
| 14 Densidad humana (Asentamiento) | 8 |
| 15 Molinos | 8 |
| 16 Turismo | 2 |
| 17 Extracción de especies leñosas | 2 |

Figura 3: Distribución de caminos de Tipo 1 en el ANP-PV. (izquierda)

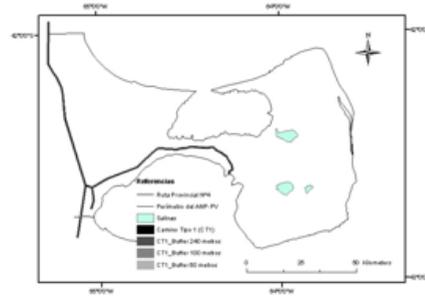


Figura 5: Distribución de caminos de Tipo 3 en el ANP-PV. (izquierda)

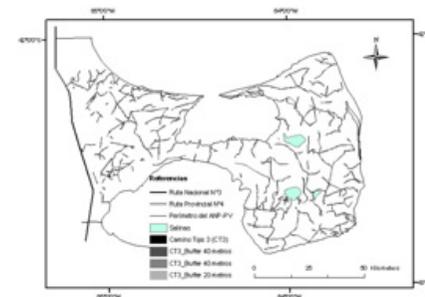


Figura 7: Distribución de las categorías de carga ovina en el ANP-PV. (izquierda)

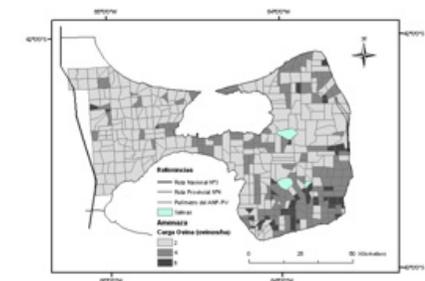


Figura 8: Distribución de cuadros con ausencia (0) y presencia (2) de cacería en el ANP-PV.

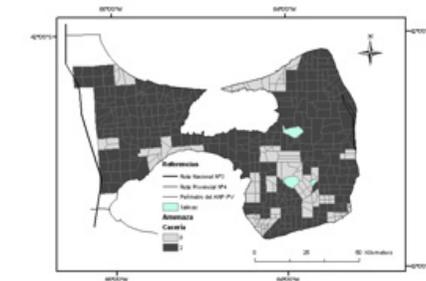
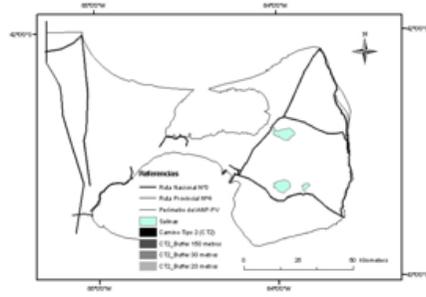


Figura 9: Distribución de cuadros con ausencia (0) y presencia (2) de envenenamiento en el ANP-PV. (izquierda). Figura 10: Distribución de cuadros con ausencia (0) y presencia (4-36) de especies exóticas en el ANP-PV. (derecha).

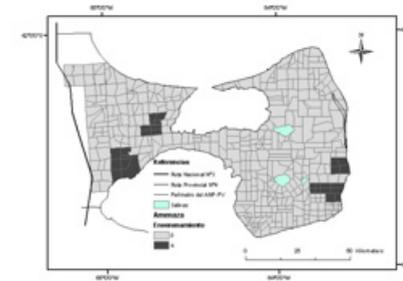


Figura 11: Distribución de puestos de estancias en el ANP-PV. (izquierda)

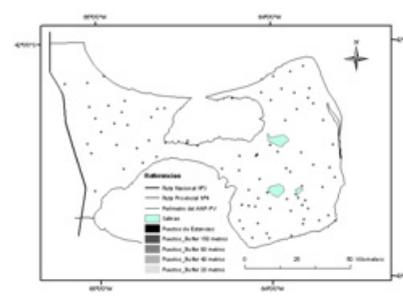


Figura 13: Distribución de los puntos turísticos en el ANP-PV. (izquierda)

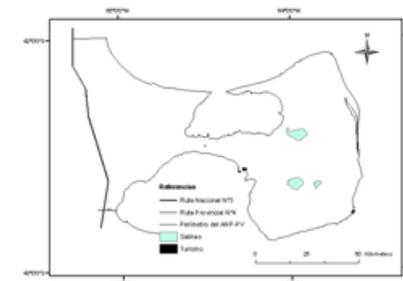


Figura 12: Distribución molinos en el ANP-PV. (derecha)

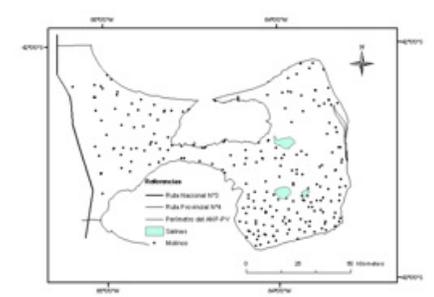


Figura 14: Distribución de *Condalia microphylla*, la principal especie leñosas. (derecha)

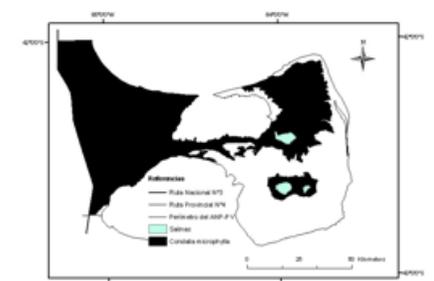
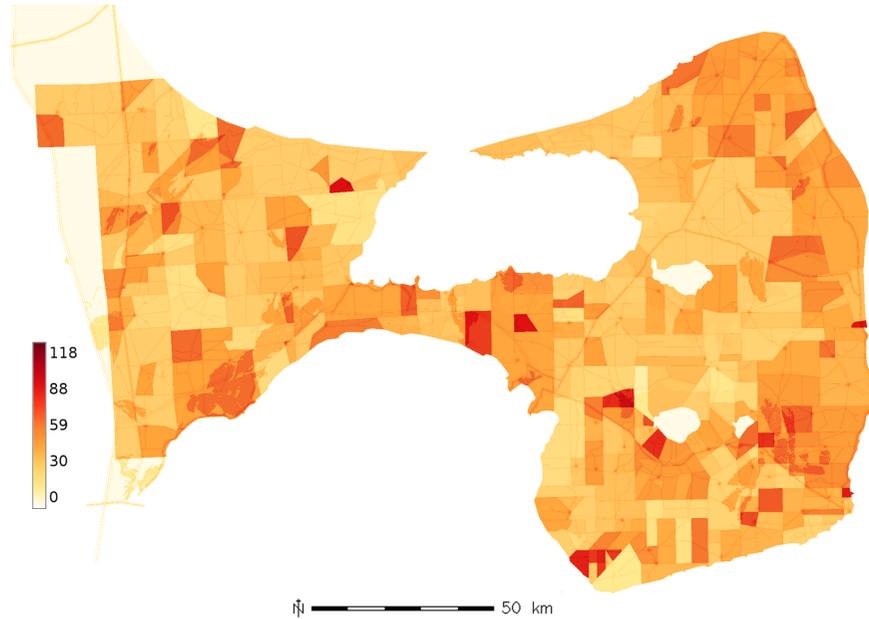


Figura 15: Superposición entre impactos y los valores de conservación en el ANP-PV. Valores altos (en rojo) se corresponden a áreas más críticas.

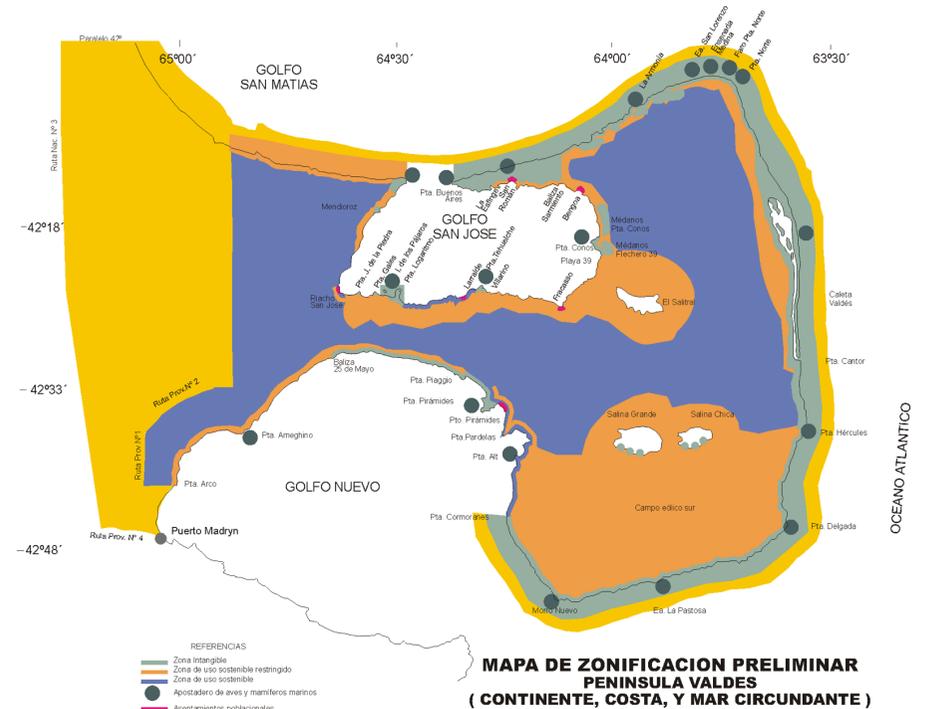


En la Figura 15 se pueden observar las zonas críticas para la conservación de los mamíferos terrestres en la ANP-PV. Las áreas más amenazadas se concentran en la zona costera oriental, los alrededores de las salinas Grande y Chica y el Istmo Carlos Ameghino, incluyendo la faja costera y sectores contiguos del Golfo Nuevo.

Niveles de protección del ANP-PV

En el Plan de Manejo del ANP-PV (elaborado en el año 1998) se presenta una zonificación preliminar de los niveles de protección del área (Figura 16). Para la elaboración de este mapa se han tenido en cuenta factores sociales, culturales, productivos y edafológicos más que biológicos. La zonificación (establecimiento de áreas con diferentes grados de permisividad en cuanto a las actividades que allí pueden desarrollarse), es un proceso dinámico y, por lo tanto, este ordenamiento del área protegida puede estar sujeto a variar en el tiempo y espacio de acuerdo a factores ecológicos, sociales y económicos que puedan intervenir sobre el mismo y conforme se vaya aumentando el grado de conocimiento en función de las investigaciones que se produzcan [22].

Figura 16: Zonificación preliminar del ANP-PV (extraído del Plan de Manejo del ANP-PV).



Zona Intangible

“Zona que consta de un área natural y cultural que ha sufrido pocas o ninguna modificación antrópica, se trata de ecosistemas únicos o frágiles, con especies de la flora y/o de la fauna, o características ambientales que necesiten protección completa. Se pueden autorizar actividades de investigación, monitoreo y control.”

Zona de uso sostenible restringido

“Zona que consta de un área natural o cultural, cuyos ecosistemas o porciones de los mismos presentan alta fragilidad, por lo que requiere una mayor intensidad en el control y monitoreo, permitiéndose actividades predeterminadas compatibles con las características del área, minimizando los impactos ambientales.”

Zona de uso sostenible

“Zonas donde pueden desarrollarse actividades productivas, planificadas y controladas garantizando la sostenibilidad ecológica, económica y social y tendiendo a minimizar los impactos ambientales. Dentro de esta zona se pueden considerar las siguientes actividades referentes al aprovechamiento de los recursos: Ganadería, pesca y maricultura artesanal, ecoturismo y recreación.”

Zona de amortiguación

“Zona diseñada para mitigar los impactos ambientales producidos por actividades humanas o por causas naturales sobre determinados recursos o áreas particulares, afectada a una reglamentación funcional y control de actividades.”

Superposición entre los principales conflictos con la conservación y los niveles de protección del ANP-PV.

Figura 17: Superposición de los conflictos con la conservación obtenidos en este trabajo y los niveles de protección establecidos en el Plan de Manejo del ANP-PV.



En la Figura 17 se puede observar lo siguiente:

- Las áreas más críticas se corresponden con aquellas zonas donde la categoría de manejo es Zona Intangible desde Punta Norte a Punta Delgada, sur de la Salina Grande y Chica y sur del Istmo Carlos Ameghino desde Punta Pirámides hasta Baliza 25 de Mayo (ver Figura 16).
- En segundo lugar se encuentran las áreas de Uso Sostenible Restringido en lo que respecta a la parte costera desde Punta Norte hasta Caleta Valdés, la zona sur de la Península Valdés abarcando en su totalidad a las dos Salinas, la zona norte del Istmo C. Ameghino y una parte más estrecha en el sector contiguo al Golfo Nuevo.
- Las zonas menos críticas se corresponden con aquellas donde la categoría de manejo es Zona de Uso Sostenible, aunque se puede observar que el sector oriental de esta categoría de protección -la parte central del Istmo C. Ameghino y sectores contiguos del Golfo Nuevo- presentan altos niveles de impacto.

Se observa que las zonas más críticas, en cuanto a la protección de mamíferos terrestres se refiere, se encuentran en las áreas de mayor nivel de protección dentro del ANP-PV (Plan de Manejo del ANP-PV).

Por otro lado, la delimitación de la zona intangible comprende áreas donde se ha constatado la presencia de materiales arqueológicos provenientes de actividades de aborígenes que habitaron el área. Estas son algunas zonas de médanos y los bajos endorreicos (salinas). Todos los apostaderos de aves y mamíferos marinos también quedaron comprendidos en la categorización de zona intangible. Sin embargo, gran parte de esta zona se encuentra afectada por las distintas actividades antrópicas que en el área se realizan. Para la zona de Uso Sostenible se permite que se desarrollen una gama de actividades más diversas pero siempre deben ir acompañadas de programas de monitoreo y control, al igual que la zona de amortiguación diseñada para mitigar el impacto producido por la actividad humana.

Aquellas zonas más sensibles, en lo que a mamíferos terrestres se refiere, coincide ampliamente con las categorías de manejo más altas (es decir restrictivas). Lo que se esperaría encontrar luego de más de una década de planteado el Plan de Manejo es que para aquellas zonas donde la categoría de protección es alta, el elenco de mamíferos terrestres presente un estado óptimo de conservación.

Si el manejo del ANP-PV fuera el adecuado, es de esperar que aquellas áreas consideradas más sensibles (Zona de Uso Intangible y Zona de Uso Sostenible Restringido), tengan los menores niveles de impactos. Por el contrario, lo que se encontró en este trabajo es que las zonas más sensibles presentan los mayores niveles de impacto.

En este contexto, este trabajo contribuye a mejorar, mediante el aporte de criterios biológicos, la delimitación de las distintas categorías de conservación. La ampliación de las áreas de Uso Intangible y de Uso Sostenible Restringido se hace imprescindible, dado que la zonificación actual no contempla algunas áreas críticas. Por otro lado, la ampliación de estas zonas es una condición necesaria pero no suficiente si de protección de los recursos naturales se trata. Es imprescindible que, una vez, delimitadas las zonas, se apliquen las normas impuestas para cada categoría de protección y se desarrollen los correspondientes programas de monitoreo, acciones que hasta ahora no se han llevado a cabo por los responsables del manejo del ANP-PV.

CRITERIOS ECOLÓGICOS QUE ORIENTEN A LA TOMA DE DECISIONES EN CONSERVACIÓN

A continuación se listan una serie de criterios ecológicos necesarios para orientar a los manejadores del ANP-PV en la toma de decisiones en pos de la conservación de los mamíferos terrestres del Área Protegida.

- Adquisición de tierras para destinarlas a conservar los recursos naturales del ANP-PV.
- Realización de estudios de impacto ambiental tanto en áreas urbanas como aquellas destinadas a recibir la mayor afluencia turística de la reserva.
- Realizar una re-zonificación detallada de todos los asentamientos poblacionales, delimitando espacios con diferentes restricciones, de manera de adecuar aquellas actividades que sean compatibles a un área protegida y con lo que los visitantes esperan encontrar de ella.
- Se plantea la necesidad de establecer umbrales de capacidad de carga de visitantes.
- Se recomienda a los dueños de cada establecimiento ganadero realizar una evaluación y planificación del uso de los pastizales naturales para disminuir la carga animal a un mínimo compatible con la capacidad de carga del ambiente (planificación de la actividad de acuerdo a los protocolos establecidos por el INTA).
- Incentivo económico y jurídico hacia la reconversión productiva con tendencias a reemplazar la ganadería por actividades menos impactantes.

- Erradicar las especies exóticas asilvestradas.
- Implementar una regulación sobre la cantidad de animales domésticos por establecimiento. Prohibir la tenencia de razas de perros que resulten peligrosas para la fauna silvestre y estimular la compra, si es necesario subsidiada, de alimento balanceado para los animales domésticos (gatos y perros).
- Compensación a los productores por las pérdidas debido a la depredación del ganado por parte de la fauna silvestre.
- Impedir mediante la construcción de una infraestructura adecuada el consumo de agua por parte de los guanacos y que es destinada al ganado lanar.
- Prohibir la extracción de especies leñosas del ANP-PV.
- Aumentar el número de guardaparques y/o guardafaunas para las tareas de campo, control y fiscalización ambiental. Asignar mayor tiempo y área de recorrido para reforzar la cobertura de control en la reserva.
- Implementar programas de educación ambiental y campañas de concientización. Se destaca la necesidad de reforzar la información brindada tanto a los visitantes como a los residentes del ANP-PV en cuanto a la importancia de preservar la fauna nativa.
- Consensuar una lista de temas prioritarios a desarrollar en investigación en el corto plazo para cubrir las principales necesidades del área. Incentivar la realización de proyectos de investigación en conservación del ambiente terrestre.
- Se recomienda realizar estudios de impactos de las rutas asfaltadas y caminos de ripio dentro del ANP-PV.
- Rever la zonificación actual del área, reelaborar y aplicar nuevas pautas que permitan actividades compatibles con las características de la zonificación minimizando los impactos ambientales.

CONCLUSIONES

Mediante el desarrollo de este trabajo, se pudo constatar que los pobladores rurales que habitan el área presentan diferencias en cuanto a sus condiciones sociales, culturales y/o económicas. En el ANP-PV y en pleno siglo XXI, las condiciones de vida de algunos pobladores rurales están por debajo de las condiciones mínimas para satisfacer sus necesidades básicas. La mayoría habita casas muy precarias sin acceso a agua potable de calidad, infraestructura para el aseo con agua caliente, sistemas de calefacción adecuados, luz eléctrica ni medios de movilización. En otros casos los sueldos están por debajo del salario mínimo y dependen de que los administradores de las estancias les suministren el alimento.

Asimismo, en algunos casos el propietario del establecimiento se desliga completamente de la manutención de los perros que son utilizados para el trabajo pecuario, hecho que lleva al poblador rural a tener que responsabilizarse de conseguir la alimentación ya sea comprando alimento balanceado de su pecunio o cazando animales silvestres. Estos y otros motivos favorecen a que los pobladores se valgan de los recursos naturales terrestres para completar algunas necesidades básicas que no las pueden satisfacer de otra manera. En consecuencia, la clase social a la que el sujeto pertenece condiciona su interacción con el medio en el que está inmerso. Hoy en día resulta muy difícil querer implementar pautas de manejo a favor de la conservación de los recursos naturales si no se tiene en cuenta el rol que el hombre juega en el ambiente.

La interacción del hombre con el paisaje debe enfocarse desde una perspectiva interdisciplinaria, abierta e innovadora, entendiendo al paisaje como una construcción social, resultado de una transformación colectiva de la naturaleza y como la proyección cultural de una sociedad en un espacio determinado. Resulta relevante entonces, evaluar y caracterizar los diferentes grupos sociales de la población rural del ANP-PV para poder desarrollar alternativas de manejo concretas y a corto plazo que logren soluciones reales tanto para el poblador del área como para la fauna de mamíferos terrestres. De esta manera, se plantea un esquema innovador, estudiando al hombre como el principal condicionante del actual mapa de distribución y abundancia de la mastofauna nativa del ANP-PV apoyándose en los resultados obtenidos durante este proyecto, el cual implicará un avance significativo en el enfoque destinado a estudios sobre la conservación de la fauna patagónica.

AGRADECIMIENTOS

A mis directores el Dr. Sergio Saba y el Dr. Adrián Monjeau. Este trabajo es un extracto de mi tesis doctoral y en él han colaborado un número importante de personas a las que les retribuyo mis más sinceros agradecimientos. Este trabajo fue parcialmente financiado por la Universidad Nacional de la Patagonia San Juan Bosco, la Administración del Área Natural Protegida Península Valdés y el Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas.

REFERENCIAS

- [1] E. O. Wilson, 1992. The diversity of life. W. W. Norton & Company. New York & London.
- [2] J. A. Monjeau, R. S. Sikes, E. C. Birney, N. Guthmann, C. J. Phillips, 1997. Small mammal community composition within the major landscape divisions of Patagonia, southern Argentina, *Mastozool. Neotrop.* 4, 113-127.
- [3] J. A. Monjeau, N. Bonino, S. L. Saba, 1994. Annotated checklist of the living land mammals in Patagonia, Argentina, *Mastozool. Neotrop.* 1, 143-156.
- [4] J. Daciuk, 1974. Notas faunísticas y bioecológicas de Península Valdés y Patagonia. XII. Mamíferos colectados y observados en la Península Valdés y Zona Litoral de los Golfos San José y Nuevo (Provincia de Chubut, República Argentina), *Physis* 33(86), 23-39.
- [5] E. Massoia, A. A. S. Vetrano, F. R. La Rossa, 1988. Análisis de regurgitados de *Athene cunicularia* de Península Valdés, Departamento Biedma, Provincia de Chubut, *Aprona* 4, 4-13.
- [6] A. W. Taber, D. W. Macdonald, 1992. Communal breeding in the mara, *Dolichotis patagonum*, *J Zool.* 227, 439-452.
- [7] A. W. Taber & D. W. Macdonald, 1992. Spatial organization and monogamy in the mara, *Dolichotis patagonum*, *J Zool.* 227, 417-438.
- [8] R. Baldi, C. Campagna, S. L. Saba, 1997. Abundancia y distribución del guanaco (*Lama guanicoe*) en el NE del Chubut, Patagonia Argentina, *Mastozool. Neotrop.* 4, 5-15.
- [9] M. J. Nabte, A. Andrade, S. L. Saba, A. Monjeau, 2009. Mammalia, Rodentia, Sigmodontinae, *Akodon molinae* Contreras, 1968: New locality records and filling gaps, *Checklist* 5(2): 320-324.
- [10] M. A. Mares, 1992. Neotropical Mammals and the myth of Amazonian biodiversity, *Science* 255, 976-979.
- [11] A. M. Beeskow, H. F. del Valle, C. M. Rostagno, 1987. Los sistemas fisiográficos de la región árida y semiárida de la provincia de Chubut. Secretaria de Ciencia y Técnica, Delegación Regional Patagonia. San Carlos de Bariloche, Río Negro, Argentina.
- [12] M. I. Bellocq, 1982. Metodología para el estudio de la predación de roedores por aves. Tesis de licenciatura, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Buenos Aires, Buenos Aires.
- [13] E. Massoia, 1984. La importancia del análisis de regurgitados de aves estrigiformes, *Acintacnia* 1(11), 38-39.
- [14] F. W. Schueler, 1972 A new method of preparing owl pellets: boiling in NaOH. *Bird Banding* 56, 277.

- [15] M. M. Díaz, D. A. Flores, R. M. Barquez, 1998. Instrucciones para la preparación y conservación de mamíferos. PIDBA, Tucumán, Argentina.
- [16] O. P. Pearson, 1995. Annotated keys for identifying small mammals living in or near Nahuel Huapi National Park or Lanín National Park, southern Argentina, *Mastozool. Neotrop.* 2(2), 99-148.
- [17] A. R. Reza, C. A. Ubeda, D. E. Grigera, 1994. Conservación de la fauna de tetrápodos I. Un índice para su evaluación. *Mastozool. Neotrop.* 1(1), 17-28.
- [18] C. Ubeda, D. Grigera, A. Reza, 1994. Conservación de la fauna de tetrápodos II. Estado de conservación de los mamíferos del Parque y Reserva Nacional Nahuel Huapi, *Mastozool. Neotrop.* 1(1), 29-44.
- [19] J. A. Monjeau, J. Marquez, G. Zuleta, 2006. Aproximación metodológica para establecer los principales conflictos y priorización de la toma de decisiones en áreas protegidas. En: Monjeau, JA y S Pauquet (Editores). Estado de conservación, amenazas y prioridades de inversión en áreas protegidas andinopatagónicas. Ediciones Universidad Atlántida Argentina.
- [20] A. Jarvis, S. E. Castano, G. Hyman, S. Gebhardt, E. Guevara, 2006. TNC Threats Assessment Version 1.1. Internacional Center of Tropical Agriculture.
- [21] M. J. Nabte, 2010. Desarrollo de criterios ecológicos para la conservación de mamíferos terrestres en Península Valdés. Tesis Doctoral Inédita. Universidad Nacional de Mar del Plata.
- [22] Plan de Manejo del Área Protegida Sistema Península Valdés. 1998. Puerto Madryn, Chubut, Argentina.

Sobre la necesidad de una ley de presupuestos mínimos de manejo de fuego en los ecosistemas argentinos

RESUMEN

La investigación consideró el rol del fuego en los ecosistemas como objeto de regulación jurídica desde la perspectiva teórica del Derecho Ambiental para definir políticas adecuadas de manejo del fuego.

Las estadísticas de las últimas décadas indican una tendencia al aumento del número de incendios, de la superficie afectada y del riesgo de incendio en diversas regiones del mundo. Cuestión que se refleja en Argentina agravada por el cambio climático, los cambios del uso de suelo y las políticas inapropiadas.

Se revisó el marco jurídico del fuego vigente a nivel internacional, nacional y provincial con el objeto de determinar los principios, vacíos y soluciones, que debían guiar la propuesta de una nueva normativa fundada en el manejo integral del citado elemento. Ello permitió determinar que, la legislación nacional depara un tratamiento parcial e insuficiente a la cuestión, ocupándose solo de los aspectos negativos del fenómeno (los incendios) y poniendo el foco en los ecosistemas forestales. A la vez, se constató que nuestro país cuenta con un marco constitucional remozado que obliga a adoptar normativa de protección ambiental y regulación de actividades antropogénicas (como el uso del fuego) para el desarrollo sustentable.

Los resultados de ésta investigación confirmaron la hipótesis que plantea la necesidad de contar con una legislación de presupuestos mínimos para el manejo de fuego, atento a que la ausencia de la misma o su imperfecta formulación acentúa la vulnerabilidad de los ecosistemas asiento de la vida y, por consiguiente, a la vida misma.

P. Nosedá (1).

1 PEPACG, Pontificia Universidad Católica Argentina (UCA)

e-mail: paulanoseda@uca.edu.ar

INTRODUCCIÓN

El fuego es modelador natural del paisaje porque con los restantes elementos (agua –aire-tierra) contribuyó a formar los distintos ambientes del planeta [1]. Su ausencia o frecuencia histórica en un ecosistema determina el régimen de fuego [2], el cual puede verse alterado por la intervención directa o indirecta del hombre.

Se dice que el fenómeno ígneo tiene dos caras. La faz positiva se muestra cuando se emplea el fuego como herramienta para limpiar bosques y pastos; regular y controlar la sucesión vegetal; regenerar la calidad y rendimiento del pastizal; reciclar nutrientes; regular y controlar plagas y enfermedades; favorecer la germinación de determinadas especies vegetales; y/o reducir el material combustible, entre otros usos [3]. Mientras que la faz negativa se presenta cuando el fuego, originado por causas naturales y/o antrópicas, no puede ser controlado, provocando incendios capaces de dañar todo lo que encuentren a su paso.

En este trabajo se considera el rol del fuego con relación al efecto que este tiene respecto de diferentes coberturas vegetales [4].

Evidencia[5] aportada por algunas regiones del planeta indica un incremento [6], en las últimas décadas, del número y la severidad de los incendios, de la superficie afectada y del riesgo de incendio por la influencia del cambio climático [7]. Todo ello se presenta en asociación con el cambio de uso del suelo y las limitaciones institucionales al aprovechamiento sustentable del bosque y al manejo integrado del fuego. Precisamente, el fuego sin control, por su carácter expansivo se constituye en una amenaza tanto para las personas y sus bienes materiales [8] expuestos al evento extremo, como para el ambiente y los recursos naturales que lo conforman.

Entre los impactos negativos de los incendios se destacan: las pérdidas de vidas humanas y la afectación de la salud de la población, así como las pérdidas económicas, sociales, culturales y ambientales. Entre estos últimos se observan alteraciones en: el suelo, la biodiversidad, la atmósfera, el ciclo hidrológico, el ciclo del carbono, etc. Sin embargo, se afirma que aún no se puede establecer con certeza el costo ambiental de los incendios, por la falta de estudios de campo que evalúen las áreas afectadas y realicen un seguimiento de los cambios provocados a largo plazo en el ecosistema; por el poco conocimiento del funcionamiento ecológico de las mismas; y por la dificultad para desagregar los daños provocados por los incendios y aquellos provocados por otras causas climáticas [9].

Los incendios de vegetación, considerados a partir de la teoría social del riesgo [10], son eventos extremos que, debido a las múltiples concausas que inciden recíprocamente en su origen, representan un riesgo compuesto tanto por la peligrosidad [11] inherente a los mismos, como por la vulnerabilidad [12] de las personas y del ecosistema, expuestos al evento en un espacio y tiempo determinado. Esta perspectiva teórica permite un tratamiento superador de las catástrofes, porque deja de poner el énfasis en los aspectos físicos-naturales desencadenantes y en la magnitud del daño producido en cada caso, para incluir en su análisis las incidencias que los sistemas sociales tienen frente al fenómeno [13]. Por ende, se pueden diseñar participativamente políticas que incluyan medidas preventivas y de mitigación tendientes a la reducción de riesgos ocasionados por los incendios a las comunidades y sus ecosistemas. A tal fin, para el desarrollo de este trabajo se adopta la visión denominada Manejo Integrado del Fuego [14] que suma las realidades socioculturales y las exigencias ecológicas, a la visión más técnica del Manejo del Fuego, entendido este último concepto como:

"...las actividades necesarias para la protección contra el fuego de un bosque y otros valores de vegetación que arden fácilmente y el uso del fuego para lograr las metas y objetivos de manejo de un terreno. Ello incluye la integración estratégica de factores tales como el conocimiento de los regímenes de incendios, los probables efectos del fuego, los valores en riesgo, el nivel necesario de protección forestal, el costo de las actividades relacionadas con el fuego y la tecnología de los fuegos prescritos en la programación del uso múltiple, la toma de decisiones y las actividades del día a día para lograr los objetivos de ordenación de los recursos..." [15].

En tal sentido, el Derecho como producto social es imprescindible para la definición e implementación de políticas orientadas a la prevención-mitigación de los incendios y sus consecuencias dañosas sobre la gente y sus ecosistemas.

MÉTODOS Y MATERIALES

La investigación consideró el rol del fuego en los ecosistemas como objeto de regulación jurídica desde la perspectiva teórica del Derecho Ambiental, a fin de contribuir a definir políticas nacionales adecuadas de manejo del fuego.

A tal fin, se realizó la compilación y análisis de legislación vigente a nivel local, nacional, comunitario e internacional, relacionada al objeto de nuestra investigación, que contribuyera a confirmar la hipótesis que plantea la necesidad establecer en Argentina una ley de presupuestos mínimos para el manejo del fuego en los ecosistemas.

Los métodos y teorías legales empleados fueron: i) el análisis del Derecho positivo en la República Argentina y en las jurisdicciones locales; ii) el Derecho Comparado (tomando como referencia casos de legislación que por su novedad, éxito o similitud con nuestra tradición jurídica ameritaban su consideración); iii) la doctrina nacional e internacional; y iv) la jurisprudencia, es decir, la respuesta de la jurisdicción a los casos concretos.

En cuanto a la recolección de datos, se realizó, principalmente, a partir de la consulta y fichado de las principales bibliotecas en materia jurídica y técnica particular. A la vez, se consultaron bases de datos de Internet que disponen de documentación confiable y especializada en materia de fuego, como por ejemplo, el sitio de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO).

Asimismo, se acudió a bases de datos 'on-line' de legislación local para determinar la incidencia del tema a nivel provincial y de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires.

Por otra parte, se emplearon datos estadísticos de incendios forestales, procesados por la Dirección de Bosques de la Secretaría de Ambiente y Recursos Naturales de la Nación, a partir del año 1999 hasta el año 2007 [16].

En particular, a nivel nacional, se analizó la siguiente normativa:

i) Artículos 41 y 124 de la Constitución Nacional que establecen el derecho a un ambiente sano y al desarrollo sustentable, la distribución de competencias ambientales entre Nación y Provincias, el dominio originario de los recursos naturales ubicados en territorio provincial que atribuye el poder de policía ambiental primario en cabeza de las jurisdicciones locales;

ii) la Ley Nº 13.273 del año 1948 que establece el régimen de defensa de la riqueza forestal; la Ley Nº 22.351 que prevé el régimen de áreas naturales protegidas de jurisdicción de la Administración de Parques Nacionales (APN), la Ley Nº 25.675 o Ley General del Ambiente, la Ley Nº 26.331 para la protección de bosques nativos, la Ley Nº 25.831 de acceso a la información pública ambiental y la Ley Nº 26.562 para el control de actividades de quema; y

iii) en relación a los efectos negativos del fuego y sus consecuencias jurídicas se analizaron: la responsabilidad penal por el delito de incendio (Artículo 186 subsiguientes y concordantes del Código Penal Argentino), la responsabilidad civil (Artículos 1109, 1072 y 1113 del Código Civil) y la responsabilidad ambiental (Artículos 27 y subsiguientes de la Ley General del Ambiente).

Del mismo modo, a nivel de las jurisdicciones locales, se relevó y analizó la siguiente normativa específica en materia de manejo de fuego:

- Ley Nº 6.099 de la Provincia de Mendoza del año 1993 de Prevención y Lucha de Incendios Rurales;
- Ley Nº 2.966 de la Provincia de Río Negro del año 1996 que crea el sistema provincial de lucha contra los incendios forestales.
- Ley Nº 5.018 de la Provincia de Jujuy del año 1997 de Prevención y Lucha contra Incendios en Áreas Rurales y Forestales.
- Ley Nº 8.751 de la Provincia de Córdoba del año 1999 de Manejo de Fuego.
- Ley Nº 3.751 de la Provincia de Misiones del año 2000 que implementa el Plan Provincial de Manejo del Fuego para la prevención, presupresión y combate de incendios forestales y rurales.
- Ley Nº 6.937 de la Provincia de La Rioja del año 2000 para el Manejo del Fuego en áreas forestales y rurales.

- Ley Nº 1.354 de la Provincia de La Pampa del año 2001 sobre Prevención y Lucha contra Incendios en Zonas Rurales.
- Ley Nº 5.590 de la Provincia de Corrientes del año 2004 que regula lo referente a rozas y quemas en zonas rurales y la prevención y lucha contra incendios rurales.
- Ley Nº 5.460 de la Provincia de San Luis del año 2004 sobre Incendios Rurales y Forestales .
- Ley Nº 5.232 de la Provincia de Chubut del año 2004 para el Manejo del Fuego.
- Ley Nº 7.655 de la Provincia de San Juan del año 2005 para la Regulación del uso del fuego con fines agropecuarios para prevenir incendios agropecuarios y forestales.
- Ley Nº 9.868 de la Provincia de Entre Ríos del año 2008 para el Manejo y Prevención del Fuego en áreas rurales y forestales.
- Ley Nº 3.688 de la Provincia de Chaco del año 2009 de manejo del fuego para prevenir y controlar incendios en las áreas rurales.

Asimismo, se analizó la normativa provincial vigente que se ocupa de alguno de los aspectos del manejo de fuego: Códigos Rurales o Agrarios, normativa general ambiental y/o normativa forestal o de tránsito de las provincias de Buenos Aires, Santa Fe, Santiago del Estero, Formosa, Salta, Tucumán, Catamarca, Tierra del Fuego, Santa Cruz, Neuquén y la Ciudad Autónoma de Buenos Aires.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El fuego acompaña al hombre desde los primeros tiempos de su existencia sobre la tierra. El fenómeno ha sido fundamental para la vida del hombre tanto en sus comienzos, como en su desarrollo posterior.

Este elemento puede tener tanto efectos positivos, si se lo trata adecuadamente, como negativos, en ciertos casos de fenómenos naturales o, la mayoría de las veces, atribuibles a la acción del hombre.

El Derecho intenta dar respuesta a los efectos del fenómeno para evitar, mitigar y/o remediar sus consecuencias indeseables.

La normativa alcanza a los diversos ecosistemas, algunos más afectados que otros, por diversas causas y también al entorno construido de las ciudades y otros núcleos de población.

Fue objeto de este trabajo ordenar las cuestiones conceptuales de carácter elemental para encuadrar el tratamiento jurídico de las mismas en un proyecto que abarque las múltiples facetas que el fuego conlleva y afecta.

Normativa Nacional

El análisis del marco normativo nacional en materia de fuego permitió constatar el tratamiento parcial, insuficiente y desactualizado del fenómeno bajo consideración. Ello se debe a que la normativa nacional se limita a considerar el aspecto negativo del fuego y solo respecto de un tipo de ecosistema específico, es decir, los incendios que ocurren en el bosque (incendios forestales). Asimismo, la normativa nacional establece medidas para la regulación del uso del fuego cuyo fundamento técnico-científico desconoce los nuevos aportes hechos la Ciencia Natural a partir de la Ecología del Fuego y de la comprensión de los diferentes roles que juega el mismo en los diversos ecosistemas. Por otra parte, se objeta que la norma nacional vigente efectúa una convocatoria improvisada al combate de los incendios forestales, estableciendo como carga pública de toda persona habilitada físicamente, que habite o transite dentro de un radio de 40 kilómetros del lugar del siniestro, el deber de contribuir con sus servicios personales a la extinción de incendios de bosques. Ello denota el menosprecio por la capacitación mínima e incluso la profesionalización con la que debería contar un combatiente de incendios de diversos tipos de cubierta forestal.

Por otra parte, en lo que respecta a la autoridad de aplicación en materia de fuego a nivel nacional [17] (mal llamado Plan Nacional de Manejo de Fuego, confundiendo la herramienta técnico administrativa con el organismo encargado de ejecutar la política de manejo de fuego) se advierte que tal organismo adolece de la jerarquía institucional y de un marco legal adecuado para lograr el objetivo de coordinar acciones de manejo del fuego entre las distintas jurisdicciones y sus respectivas autoridades responsables.

La estructura institucional actual a nivel nacional surgió circunstancialmente a medida que aumentaba la cantidad y virulencia de los eventos de fuego sin control. El tiempo transcurrido desde el surgimiento del Plan Nacional de Manejo de Fuego muestra un afianzamiento de la estructura creada accidentalmente en el año 1997, la que apuesta a seguir evolucionando para alcanzar un nivel institucional superior como integrante de un sistema federal de coordinación y asistencia frente a incendios de todo tipo de cubierta vegetal.

Sin embargo, al día de la fecha se constata la falta capacidad institucional y financiera suficiente para llevar adelante políticas más integrales que se ocupen no solo de la coordinación del combate de incendios, sino también la implementación de políticas de apoyo a las jurisdicciones con relación a aspectos de prevención, información, capacitación y recomposición de las áreas afectadas por el fenómeno objeto de estudio.

El análisis realizado indica que para el mejoramiento del marco legal e institucional para el manejo de fuego se deberán adoptar normas de “presupuestos mínimos” de protección ambiental. Este tipo de normas son aquellas que deben ser dictadas por la Nación en cumplimiento del mandato constitucional del Art. 41 C.N. Las normas de presupuestos mínimos son obligatorias y uniformes en todo el territorio nacional desde su entrada en vigencia, a la vez que respetuosas del sistema federal, lo que evita los inconvenientes del anterior sistema de leyes de adhesión. Las jurisdicciones locales deberán complementar tales normas de presupuestos mínimos en materia de manejo del fuego para su mejor aplicación, adaptación a la realidad local [18] y coordinación con la esfera federal e interprovincial. Dicha normativa de presupuestos mínimos para el manejo del fuego debería establecer una autoridad de aplicación competente a nivel federal, que estaría encargada de coordinar y asistir en la aplicación de tales presupuestos mínimos a las autoridades locales que oportunamente se designen.

Así también, la normativa de presupuestos mínimos aquí propiciada, basada en los principios del Derecho Ambiental, debería establecer las siguientes medidas concretas: planificación de acciones; estructura institucional (su coordinación – financiamiento); prevención; regulación del uso del fuego con fundamento en la ecología del fuego; participación social; detección temprana; monitoreo; actualización periódica del plan nacional de manejo de fuego; métodos de evaluación de daños; recomposición del ambiente afectado; recopilación de información técnica-científica actualizada, educación de la población; capacitación permanente de los combatientes para su profesionalización; evaluación ambiental de quemas prescriptas aplicadas en para el manejo predial; ordenamiento territorial, ejercicio del poder de policía y control de su aplicación para la prevención de los efectos negativos de los incendios y uso adecuado del fuego; investigación en tecnologías para el uso del fuego o como alternativa al mismo. Las citadas medidas concretarían una regulación integral de las actividades vinculadas al manejo del fuego a fin de prevenir, mitigar y recomponer, no solo a los ecosistemas forestales sino también a los diversos ecosistemas integrando áreas urbanas, de transición, naturales, productivas sean estas rurales o industriales.

A tales fines, entendemos que el marco normativo argentino, luego de la reforma constitucional del año 1994, se muestra oportuno para emprender las modificaciones legislativas que aquí se sugieren.

Responsabilidad Civil

Nuestro sistema normativo depara consecuencias jurídicas diferentes de acuerdo con el bien jurídico protegido que se vea afectado a causa del fuego sin control provocado por la acción humana:

Cuando los efectos del fuego repercuten sobre el patrimonio de las personas, los daños ocasionados son reparables a través del sistema tradicional de la Responsabilidad Civil, de conformidad con lo establecido en el Código Civil Argentino. En tal categoría de daños civiles, se incluyen aquellos causados a las personas y a sus bienes por el fuego o los incendios a través del ambiente (por ejemplo, los aerosoles provenientes de quemas contaminan el aire que al ser inhalado por la población aledaña afecta la salud). Al respecto, se consideró la evolución de la normativa citada desde un sistema de reparación fundado en factores subjetivos de imputación (dolo – culpa) hasta la introducción más actual en el sistema de factores objetivos (riesgo). Sin embargo, no se profundizó en estos aspectos por considerar que se trata de consecuencias jurídicas de raigambre ‘ius privatista’ ya consolidada. No obstante, su consideración resultó de utilidad para poder diferenciar un nuevo ámbito de responsabilidad a la que haremos referencia a continuación.

Responsabilidad Ambiental

Ahora bien, cuando los efectos negativos del fuego repercuten en el ambiente en sí mismo o en alguno de los componentes naturales o culturales que lo integran, obligará a quien cause el daño ambiental a recomponer (conforme lo ordena el Art. 41, 1º párr. C.N.), dando origen a la llamada responsabilidad ambiental.

En nuestra investigación, pudimos constatar que la Ley “General del Ambiente” Nº 25.675 estableció instituciones impulsadas desde la doctrina del derecho ambiental, a saber: (1) el daño ambiental colectivo; (2) el seguro ambiental y (3) los fondos de recomposición ambiental. Sin embargo, lo preocupante es que la norma actualmente vigente es contradictoria y no llega a delinear cada una de las citadas instituciones en particular, lo que, en definitiva, las torna inaplicables en la práctica.

Por tal motivo, propiciamos el dictado de un estatuto específico del fuego donde se regule la responsabilidad ambiental por daño ocasionado al ambiente y sus recursos naturales a través de toda actividad que emplee fuego para el cometido de sus objetivos (sean o no de lucro), donde se corrija el actual texto de la Ley Nº 25.675, concibiendo una verdadera responsabilidad ambiental de tipo objetivo, donde el eximente admitido sea el caso fortuito calificado, como por ejemplo: i) un fenómeno natural de carácter excepcional, inevitable e irresistible; o ii) la culpa de un tercero por quien no se debe responder.

A la vez, propiciamos la inclusión de toda actividad riesgosa por el empleo de fuego para el logro de objetivos de manejo previamente determinados en la nómina de actividades obligadas a contratar un seguro ambiental.

Por otra parte, vemos favorable la formación de fondos de recomposición que, subsidiariamente, concurren a atender el daño ambiental cuando éste no pueda ser endilgado a un responsable particular o su ocurrencia se deba a un caso fortuito (natural), con la finalidad de solventar aquellas actividades de restauración de lugares afectados por incendios.

Responsabilidad Penal

En lo que respecta a la Responsabilidad Penal, se analizó teóricamente el delito de incendio previsto en el Art. 186, Capítulo I, Título VII del Código Penal Argentino, cuyo bien jurídico protegido es la Seguridad Pública. Dicho bien jurídico tiene la virtud de contener otros bienes jurídicos atribuidos a las personas, como lo son la vida, la integridad física, la salud, la propiedad e incluso la integridad ambiental.

El tipo legal analizado hace referencia al concepto de “bienes en común” que son puestos en peligro a través de la conducta incendiaria. Ello indica la voluntad del legislador de proteger derechos supraindividuales, es decir, no sólo pertenecientes a una persona en particular, sino a toda una comunidad.

Al tiempo en que fue sancionado el Código Penal Argentino (principio de Siglo XX), el valor ambiente sano no pudo ser penalmente considerado por el legislador, debido a su circunstancia histórica. Sin embargo, se constató la obligatoriedad de proteger penalmente al ambiente sano de las conductas incendiarias, con fundamento en el reco-

nocimiento constitucional de este derecho; los indicios del incremento del problema de los incendios en los ecosistemas argentinos; y la percepción social del problema de los incendios, lo que permite elevar al ambiente sano a realidad penalmente valorada.

En el caso de los incendios intencionales, este derecho al ambiente sano puede ser considerado como una especificación del bien jurídico protegido más general que es la Seguridad Pública, conclusión a la que se llegó a través de la aplicación de los criterios para la identificación racional de bienes jurídicos y la correspondiente verificación empírica, que permitió nominar el bien jurídico específico ambiente sano, dentro del tipo penal de incendio que tradicionalmente protegió otro bien jurídico de carácter global, como lo es la Seguridad Pública.

La identificación de otros bienes supraindividuales contenidos en el tipo penal analizado también fue verificada en un fallo reciente donde quedó dicho que:

"...Si bien la quema de pastizales es una costumbre de antigua data a los efectos de renovar la pastura, es sabido que tal actividad no puede llevarse a cabo en épocas de sequía, por lo cual, si los imputados realizaron dicha práctica sin tomar en cuenta tal circunstancia, ocasionando la ampliación de los focos ígneos y afectando el normal desarrollo del tránsito automotor; la navegabilidad y la calidad del aire, cabe concluir que obraron de manera indiferente frente a la eventualidad del resultado, lo que significa que llevaron a cabo la acción con dolo eventual, de modo que su conducta debe quedar subsumida en el delito de incendio con peligro común para los bienes, previsto en el Art. 186, inc. 1º, C. P...."

Asimismo, se destaca que el delito de incendio previsto por nuestro Código Penal apareja una figura de peligro concreto, lo que evita caer en la tendencia imperante de sancionar conductas por la mera peligrosidad de medio empleado, en el caso bajo consideración el fuego. En consecuencia, ello redundará en el respeto de los principios constitucionales de culpabilidad y legalidad. A la vez, el no punir penalmente el mero hecho de encender fuego, permite la regulación del empleo del mismo por parte del resto del ordenamiento jurídico, por ejemplo, a través de los permisos de quemas prescriptas.

Por lo tanto, para el caso de los incendios intencionales y sus efectos negativos sobre el ambiente, creemos que no es necesario que nuestra legislación recepte (en el Código

Penal o extra código) una nueva figura donde el bien jurídico sea el ambiente sano como objeto exclusivo de protección penal, puesto que ello solo conduciría a la producción de tipos penales "simbólicos", que contribuyen a la inflación normativa del Derecho Penal conllevando su descrédito e ineficacia.

En consecuencia, consideramos que la protección penal actual bastaría para luchar contra el mal social que conllevan los incendios intencionales. Ello en tanto la responsabilidad penal se inserte en el marco de una política de manejo de fuego integral a la que se recurra solo para el caso de fracaso de las medidas primarias de prevención y sanción.

Normativa Provincial.

Conforme surge de las Estadísticas de Incendios elaboradas por la Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación, ninguna jurisdicción local (Provincias y Ciudad Autónoma de Buenos Aires) del territorio nacional se encuentra exenta de la ocurrencia de incendios.

Este trabajo puso en evidencia que la cuestión de la regulación de fuego en sus diferentes facetas es considerada específicamente por leyes provinciales en trece de las veinticuatro jurisdicciones locales.

En tanto que, las jurisdicciones locales que no cuentan con ley específica, adhirieron a la Ley Nº 13.273, o al menos regularon algún aspecto del manejo del fuego (como por ejemplo, la prohibición de quema, el uso de fuego con fines de limpieza, la recomposición del ambiente afectado por fuego o la creación de un sistema de emergencias), a través de instrumentos normativos cuya finalidad principal es la regulación de objetos conexos, como por ejemplo: Códigos Rurales, Leyes de Uso del Suelo, Leyes de Tránsito, Leyes sobre Gestión de Residuos, Leyes Forestales, Leyes de áreas naturales protegidas, Leyes Generales del Ambiente, entre otros instrumentos normativos.

Por otra parte, del análisis de las leyes provinciales específicas de manejo de fuego se infiere y resalta la regulación de las siguientes cuestiones:

- Institución de normas obligatorias para el manejo de fuego en los ecosistemas.
- Designación de autoridad de aplicación facultada para cumplir con los objetivos de la ley.
- Definición de términos propios del manejo de fuego a través de glosarios.
- Determinación de fuentes de financiación, para lo que crean tasas por servicios derivados de manejo de fuego destinados conformar un fondo local para cumplir con los objetivos de la ley.
- Inclusión de procedimiento para autorizar el empleo de "fuego prescripto".
- Previsión de sanciones administrativas para las infracciones por incumplimientos.
- Obligaciones de las autoridades locales de aplicación, como por ejemplo:
 - Elaborar un plan anual de manejo de fuego.
 - Preparar un mapa de zonificación de riesgos.
 - Fomentar investigaciones que tengan por objeto conocer el régimen de fuego de distintos ecosistemas provinciales y los efectos de los regímenes de fuego alterados.
 - Mejorar los registros de incendios atendiendo a sus causas y efectos.
 - Fomentar la creación de Consorcios de Productores para el Manejo de Fuego.
 - Realizar campañas educativas para la prevención de incendios y la participación en el diseño y ejecución de las políticas de manejo de fuego.
 - Evaluar los daños ocasionados por incendios.
 - Restaurar los predios afectados por incendios, previa interdicción de los mismos a fin de garantizar su recomposición y el restablecimiento de sus funciones ecológicas y productivas.
 - Monitorear el desenvolvimiento de áreas afectadas por incendios.
 - Organizar los recursos humanos y materiales existentes de acuerdo con las prioridades fijadas en el Plan de Manejo de Fuego.
 - Planificar el manejo de emergencias.
- Obligaciones de los dueños o tenedores por cualquier título de predios forestales o rurales:
 - Permitir el acceso y el tránsito al predio en caso de fuego declarado.
 - Deber de recomponer el ambiente dañado en caso de incendio, conforme a la responsabilidad ambiental.
 - Ajustar la actividad desarrollada en el predio a lo indicado por el ordenamiento territorial.
 - Realizar cortafuegos y las tareas de silvicultura preventiva, en caso de corresponder.

En conclusión, el análisis de la normativa vigente a nivel provincial, permite afirmar que existe en la actualidad una base legislativa importante, cuyo objeto es la regulación de los diversos aspectos que conforman el manejo integrado del fuego en los ecosistemas. Sin embargo, el disímil tratamiento de la cuestión confirma la necesidad de contar con una ley de presupuestos mínimos en la materia, tendiente a armonizar conceptos, procedimientos, cooperación entre jurisdicciones locales y entre estas y la jurisdicción federal como encargada de velar por en última instancia por la protección del ambiente sano y el uso racional del mismo.

Normativa Internacional

Las políticas nacionales, individuales e inconexas, no bastan para hacer frente a los problemas ambientales como los incendios, cuyos efectos vulneran fácilmente las fronteras nacionales. A tal fin, es necesario establecer marcos jurídicos internacionales armonizados que faciliten la cooperación y el intercambio de información entre los países afectados por el fenómeno objeto de nuestro estudio.

En cuanto a la cooperación internacional, se puso en evidencia que el marco jurídico internacional ambiental en general y de manejo de fuego en particular, hace más de una década que viene configurándose, a través de: 1) tratados internacionales que son obligatorios y logran captar ciertos aspectos del fenómeno, como son los efectos negativos de los incendios en relación con el cambio climático, la desertización, la pérdida de diversidad biológica o la protección de la capa de ozono; y 2) declaraciones y recomendaciones internacionales que, si bien no son obligatorios 'per se', contribuyen al proceso de reiteración y referencia constante para dar origen a una verdadera regla consuetudinaria.

Asimismo, se rescató la experiencia de la Unión Europea, que lleva la delantera en materia de manejo integral del fuego ya que se inició con una política sectorial en materia de protección del bosque contra los incendios forestales, para luego reafirmarla hasta integrar la protección forestal con el apoyo de otros sectores vitales que hacen a la gestión sustentable de los bosques (contaminación atmosférica – desarrollo rural – banco de datos ambientales de la comunidad aportados por los Estados miembros, a través de una metodología común).

Las constituciones nacionales de los países sudamericanos considerados [20] estable-

cen expresamente el deber de proteger el ambiente y sus recursos naturales haciendo un uso racional de los mismos. Ello da fundamento para que cada uno de los países de la región haga avances concretos en la materia, a través de la implementación de marcos jurídicos nacionales actualizados e integrales en materia de manejo del fuego, conforme lo sugieren los principios y lineamientos elaborados por la FAO y demás organismos internacionales con experiencia en la materia. Porque solo a partir de la implementación local de políticas efectivas y adecuadas a cada realidad nacional, que a la vez no sean aisladas respecto de la realidad internacional, se podrá luego establecer una eficaz cooperación internacional para el manejo integral de fuego.

CONCLUSIONES

El fuego constituye un elemento natural merecedor de normativa atenta a que la ausencia de la misma o su imperfecta formulación vuelven vulnerables a los ecosistemas asiento de la vida y, por consiguiente, a la vida misma.

La respuesta humana al fuego se caracterizo por ser débil, lo cual engendra mayor riesgo a la naturaleza.

En los últimos tiempos, las acciones antrópicas irresponsables o intencionales potencian la presencia o efectos del fuego.

El Derecho debe salir a dar respuesta por la naturaleza y por la calidad de vida del hombre. Se impone así una legislación de presupuestos mínimos que asegure en todo el país una tutela uniforme, elemental, obligatoria e integral del ambiente y los recursos naturales que pueden verse afectados por el fenómeno ígneo.

Es menester destacar a esta altura la necesidad de ampliar conceptos y sumar recursos técnicos para una mejor gestión de algo tan imprevisible, peligroso y rápido en su difusión como las llamas y la combustión de la biomasa.

Una regulación de presupuestos mínimos deberá forzosamente contemplar:

1. **Recomendaciones a las personas.** Consideración de la conducta humana frente al fuego y recomendaciones elementales respecto de su uso y manejo en el ambiente que se encuentre.
2. **Categorización del fenómeno.** Análisis del incendio, concepto y características del mismo, sus efectos y la necesidad de su prevención lo que facilitará una respuesta adecuada en caso de emergencia.
3. **Sistematización nacional.** Regulación de un sistema nacional de manejo de fuego que ordene la atribución de funciones a las autoridades que corresponda intervenir de acuerdo con la peligrosidad o extensión del fuego, siendo deseable la categorización del fenómeno a los efectos de su tratamiento, así como la debida asignación de recursos financieros.
4. **Autoridad de aplicación de mando único pero descentralizado.** Creación de una autoridad de aplicación para el manejo del fuego, tanto del voluntario como del involuntario, con presencia y facultades para actuar en las diversas jurisdicciones del país en cooperación con las autoridades locales. Es conveniente una defensa única contra el fuego en todo el país, instrumentada a través de una autoridad nacional con autarquía financiera y administrativa, con facultades amplias para el Manejo del Fuego, que funcione dentro de la órbita de la Secretaría de Estado de Ambiente y Desarrollo Sustentable.
5. **Concientización de la población.** Es urgente informar y educar a la población para la toma acciones responsables en relación con el manejo del fuego ante la necesidad de rechazar múltiples conductas antrópicas generadoras de incendios, a saber: quemas de pastizales, fuego en áreas protegidas, quemas en rutas, incineración de rastrojos, como método agrícola, uso de combustibles en forma inadecuada, quema de residuos en todas sus manifestaciones, entre otras.
6. **Cláusula de Responsabilidad.** Obligación de recomponer en cabeza de quien ocasione un incendio que provoque daño ambiental, conforme lo ordena el Art. 41 de la Constitución Nacional.
7. **Obligación de Informar.** Obligación de toda persona de informar a la autoridad más cercana la ocurrencia de cualquier tipo de incendio, previendo penalidades e infracciones para su incumplimiento.
8. **Tratamiento único del fuego con independencia de las concausas.** Sin importar las causas que den origen al fuego la respuesta debe ser única, completa, previsible y organizada.
9. **Libre acceso y tránsito a la propiedad privada para el combate de incendios, sin excepciones.** Con fundamento en la necesidad de salvar vidas y evitar la propagación del fuego, corresponde excepcionalmente el libre acceso y tránsito a la propiedad privada por parte de quienes están encargados del control del fuego.

Finalmente, se confirma la necesidad de contar con una ley de presupuestos mínimos que integre la realidad socio-cultural y los imperativos ecológicos con una visión tecnológica para el manejo del fuego en los ecosistemas argentinos en el marco de los Principios del Derecho Ambiental.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo se realizó gracias a la beca doctoral Tipo I del CONICET otorgada a la autora durante el período 2006-2009.

REFERENCIAS

- [1] Ramos, M. P. R. "El uso del fuego y los Incendios Forestales", en *Uso del Fuego y Prevención de Incendios forestales - Fundamentos y Experiencias*, Guatemala, FAO-Proyecto TCP/GUA/2930 (A), 2004, p. 6.
- [2] Los ecosistemas pueden clasificarse según su régimen de fuego en: 1) dependientes del fuego, cuando este elemento natural es esencial para el desarrollo de las especies que lo habitan que han generado adaptaciones en respuesta al fuego que es parte esencial del proceso y, en caso de ser suprimido, su régimen se ve alterado; 2) independientes del fuego, cuando este elemento tiene una función exigua o nula en su dinámica natural, por ser demasiado frío, seco o húmedo como para quemarse; y 3) sensibles al fuego, cuando se ha desarrollado sin que el fuego sea un evento recurrente en su dinámica natural propia, conforme The Nature Conservancy (TNC), "El Fuego, los Ecosistemas y la Gente - Una evaluación preliminar del fuego como un tema global de conversación", *Iniciativa Global para el Manejo del Fuego*, 2004, p. 3.
- [3] Ramos, M. P. R. - FAO, Op. Cit. nota 1, p. 9.
- [4] A veces se emplea genéricamente el concepto de "incendios forestales" para denotar incendios de otros tipos de vegetación. Igual criterio siguen las estadísticas de incendios en Argentina, conforme SAyDS, *Estadística de Incendios Forestales 2008*, elaborado por el Programa Nacional de Estadística Forestal, Buenos Aires, 2009, pp. 6.
- [5] FAO, *Fire Management Global Assessment 2006. A thematic study prepared in the framework of the global forest resources assessment 2005*, FAO Forestry Paper 151, Roma, 2007: <http://www.fao.org/docrep/009/a0969e/a0969e00.htm>, p. X.
- [6] Un dato que confirma la tendencia al incremento de los incendios de vegetación es el correlativo aumento en las emisiones de gases de efecto invernadero a la atmósfera producto de la deforestación, en tal sentido se afirma: "...Annual global carbon emissions averaged at 1660 Tg C/a during the 1960s and rose to an average of 2560 Tg C/a during the 1990s. The most important contribution to the trend comes from enhanced deforestation in the tropical regions...", conforme Schultz, M. G., A. y otros, "Global wildland fire emissions from 1960 to 2000", *Global Biogeochem. Cycles*, Vol. 22, 2008, pp.15.
- [7] Bowman, David M. J. S. y otros, "Fire in the Earth System", *Science* 24 April 2009, Vol. 324, Nº 5926, pp. 481 – 484: "...our capacity to manage fire remains imperfect and may become more difficult in the future as climate change alters fire regimes. This risk is difficult to assess, because fires are still poorly represented in global models...".
- [8] El fuego sin control puede tener origen fuera de las ciudades, sin embargo, tiene la capacidad de avanzar hasta el punto de ponerlas en riesgo de sufrir graves pérdidas humanas y materiales: "Ola de devastadores incendios forestales en Grecia: 52 muertos...decenas de pueblos ardiendo": http://www.clarin.com/diario/2007/08/26/el_mundo/i-02401.htm
- [9] TNC, "Fuego en Centroamérica. Una amenaza recurrente a la biodiversidad, la salud y las economías de Centroamérica", 2006, pp. 12: http://www.tncfuego.org/documents/Fire_Mesoamerican07.pdf.
- [10] Blaikie, Piers-Cannon, Ferry – Davis, Ian – Wisner, Ben, *Vulnerabilidad. El Entorno Social, Político y Económico de los Desastres*, Red de Estudios Sociales en Prevención de Desastres en América Latina, 1ª edic., Panamá, 1996: <http://www.desenredando.org>, p. 27
- [11] Probabilidad de ocurrencia de un evento potencialmente desastroso, UN/ISDR. Ginebra 2004.
- [12] Características (sociales-culturales-económicas-institucionales) previas que determinan la capacidad de un grupo de anticiparse, sobrevivir, resistirse y recuperarse del impacto de determinado peligro UN/ISDR, Ginebra 2004.
- [13] El concepto de desastres empleado abarca aquellos causados por peligros de origen natural y los relacionados con riesgos y peligros ambientales y tecnológicos. Ello refleja una visión del manejo integral de los riesgos de desastre y la relación entre estos y el impacto (social – ambiental- cultural y económico) significativo (*Estrategia de Yokohama*, sección I, parte B, letra I, p. 8).
- [14] The Nature Conservancy (TNC), "Convivir con el fuego. Manteniendo los ecosistemas y los medios de subsistencia mediante el Manejo Integral del Fuego", *Global Fire Initiative*, 2006, p. ii: http://www.tncfuego.org/documents/el_manejo_integral_del_fuego.pdf.

- [15] FAO, Manejo del Fuego: principios y acciones estratégicas. Directrices de carácter voluntario para el manejo del fuego, Documento de Trabajo N°17, Roma, 2007: <ftp://ftp.fao.org/docrep/fao/009/j9255s/j9255s00.pdf>.
- [16] Los datos estadísticos nacionales en materia de incendios forestales han merecido las críticas de parte de la comunidad científica debido a ciertas deficiencias en el método estadístico empleado e incluso las inconsistencias han sido asumidas por el propio órgano productor de estadísticas. Sin embargo, ello debe servir a las autoridades encargadas de la elaboración de tales estadísticas para ir mejorando año a año la metodología empleada y las fuentes informantes. Más allá de las deficiencias de que pudieran adolecer las estadísticas nacionales, sin duda indican una tendencia en materia de incendios forestales que debe llamar nuestra atención y no deben servir de excusa para evitar tomar las medidas necesarias en materia de fuego. S.AyDS, Serie de Estadísticas de Incendios Forestales (1999 - 2007), publicada en <http://www.ambiente.gov.ar/?idarticulo=303>.
- [17] Resolución S.AyDS N° 222/1997
- [18] "...La República Argentina, un país federal con un desarrollo legislativo provincial disímil en materia ambiental, requiere de un piso o base de protección común en todo el territorio, que evite situaciones de inequidad para los habitantes de aquellas jurisdicciones que cuentan con una protección ambiental legal e institucional más débil a la mínima necesaria..." conforme Di Paola, María E., en Presupuestos Mínimos de Protección Ambiental II, FARN, Buenos Aires, 2006, pp. 19.
- [19] Cámara Federal San Martín, sala I, noviembre 4-2008, Incidentes de apelación de S.V., S.A.; M., J.L. y G., J.P. (causa N° 8599).
- [20] Argentina; Bolivia; Brasil; Chile; Colombia; Ecuador; Paraguay; Perú; Uruguay y Venezuela.

Automated system for magnetic monitoring of volcano activity

L. Padovese,
C. S. Muranaka,
R. R. Ferreira,

A.M. Bizuti,
F. A. Cavallaro,

Laboratório de Dinâmica e Instrumentação, Escola Politécnica, Universidade de São Paulo
lrpadove@usp.br

ABSTRACT

Since the last decade, there has been an increasing interest concerning the use of magnetic and electric measurements in the search of precursory information related to volcanic activities and earthquakes. Though debates on this subject still take place, it seems that they are more related to lack of convincing experimental results (relatively few case studies were conducted in the last two decades) than to conceptual reasons. Previous international volcano activity monitoring indicates that the best results have been obtained in the ULF band (0.01 to dozens of Hz).. This paper describes an automated monitoring system designed to monitor Peteroa Volcano activity. The system is composed by three main sub-systems: sensors and signal conditioning, data acquisition and storage, and software for system control, data recovering /transmission and event detection. In the first campaign, it will be used magnetic sensors working in the ULF band (0.01Hz to 10Hz). A discussion about the sensors design is presented. The sub-system of data acquisition and storage was specially designed to support hard environmental conditions. Additionally, due to its low power consumption, the device has autonomy for one year of data storage, if no data transmission facility is available.

INTRODUCTION

Systematic magnetic monitoring campaigns for evaluating seismic as well as volcanic activities only began in the 1990s ([1] [2] [6] [11]), when the first permanent magnetic monitoring networks have been installed. In fact, it was in the 90s that detection of UFL emission (from 1 mHz to some tenths of Hz), preceding strong earthquakes, has been first and independently reported by Kopytenko ([1]) and Frase-Smith ([3]).

In this context, although numerous studies have been published on the occurring of earthquake (and/or volcanic activity) precursor UFL signals in the last two decades, a degree of uncertainty still remains in what concerns the very existence and detection conditions of these signals. Several are the reasons contributing to this uncertainty and,

among others, it can be cited: event rarity, few existent monitoring networks; lack of repeatability (due to the very impossibility of phenomenon repetition or simply to the fact that the event was not been independently detected by different sensing systems); non-use (or even lack) of appropriated signal processing tools for detection of this type of event; difficulty for separating atmospheric and ionospheric events from seismic or volcanic ones ([7] [8] [9] [11] [13]). Despite these facts, uncertainties about the subject tend to reduce as more and more permanent monitoring systems are implemented and more data is collected in a more consistent way.

The present work describes a magnetic monitoring system, developed at LADIN, Laboratory of Dynamics and Instrumentation, from the University of Sao Paulo, Brazil, to be installed at the monitoring station of the Peteroa Volcano, in the Argentinean Andes, for the 2011 measuring campaign.

The Planchon-Peteroa volcano is an elongated volcanic complex in the Chilean-Argentinean border (35°14'24"S, 70°34'12"W, 4107m high, position represented in Figure 2), with several craters, whose activity has been predominantly explosive. The last two Peteroa eruptions occurred in 1998 (Volcanic Explosive Index, VEI, 1) and in 1991 (VEI 2) [17]. The existing monitoring station placed at the Argentinean volcano base contains micro-seismic event monitoring systems, working with acoustic emission and gas sensors.

The LADIN equipment will be added to this station with three main objectives: study the possibility of detection of magnetic precursors of seismic or volcanic activities; analyse magnetic anomalies occurring during occasional tectonic and volcanic activities and collect a database for the Peteroa region ionospheric system.

SENSORING OF MAGNETIC EMISSIONS

Due to its specific nature, seismic and volcanic phenomena monitoring process must be achieved in a continuum way, which allows detecting precursor events as well as characterizing the evolution of background signal. In other words, good background signal characterization decisively contributes to the detection and characterization of time instant events related to precursors.

Besides intrinsic sensor quality, a factor of success in detection of precursors is non-contamination of signals by other natural, or "cultural" sources. Due to the low amplitudes of precursor related signals, signal contamination can be a serious problem, masquerading relevant information. In these conditions, precautions should be taking to avoid false results ([4] [10]).

Sources of natural magnetic disturbances, in the frequency range concerning the present problem, e.g., from mHz to tenths of Hz, are, for instance, magnetic perturbations related to the interaction between solar wind and Earth magnetic field. Additionally, there are Schumann resonance related fluctuations, originated in the dynamics of the electromagnetic wave channel formed by the ionosphere and lithosphere. These resonances occur between 7 and 35 Hz. Another source of magnetic perturbation is that related to electrical atmospheric activities as, for example, atmospheric lightning and sprites.

As a consequence, an additional problem to be solved regards how to separate aforementioned fluctuations from those originated in telluric – volcanic activities. In general, the question of separating multiple sources in the measured signal always exists. The answers to this question allow not only reveal information on tectonic activities, but also providing additional information on other geo-environmental problems.

Two classes of methodology, complementary to each other, can be considered to treat the subject. The first uses multiple sensing stations, geographically separated but synchronised in time. In this way, a group of signals is obtained, the signals being subject to some perturbations in common and to perturbations only presented in specific sensing units ([5] [12] [13]). The second methodology involves signal processing methods of decorrelation, filtration, multi-variable statistical methods and, in a more general approach, source separation methods ([15] [16]).

Noise being intended as everything that cannot be regarded as pertinent information, to the previously mentioned noise sources there are possible contributions of more localized nature as, for example, those related to wind and daily thermal cycles. These influences may be minimized by digging the probes or by protecting them in appropriated containers. Equally important, other cultural noise sources are electrical transmission lines and magnetic induction due to the sensor vibration movement (generated by road traffic or other mechanical activities). Therefore, these factors have to be taken into account while choosing the system position in the site. It is important to have in mind that good characterization of inevitable cultural noise frequently opens the possibility of reducing the noise via filtering methods (classic, adaptive or clustering, among others) [13]

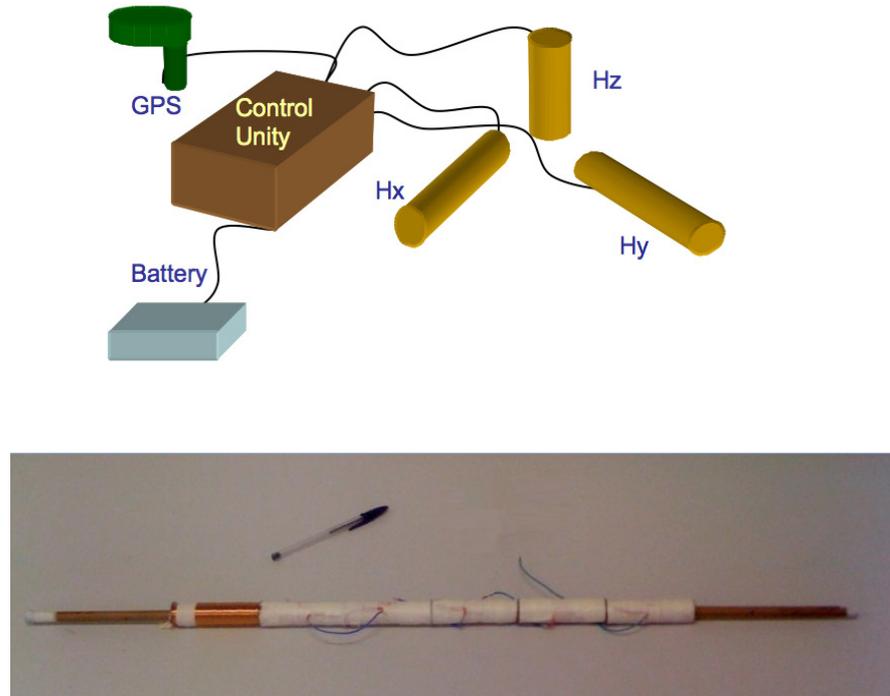
THE MAGNETIC SENSING SYSTEM

The monitoring unit design prioritised optimization of the following features: low cost, easiness of installation, maintenance and replication, modularity and connectivity for usage flexibility. These characteristics enhance the viability of implementing a wider electromagnetic monitoring network.

For the 2011 campaign, each monitoring unit is composed by a magnetic vectorial system with three magnetic probes (horizontal and vertical components), in the UFL range of 0.01 Hz to 20 Hz. One of the horizontal magnetic field components is aligned with the Earth magnetic field, while all the other components are orthogonal to it. The magnetic sensor is of coil type, presenting high sensitivity and background noise of the order of 0.01 nT rms. Each monitoring unit has a GPS device for time synchronization of units installed at different locations (Figure 1).

Due to low winter temperatures, equipment was designed to operate down to -30°C. The control unit can save information up to 16Gb, for the 2011 campaign, being expandable in case of necessity. The equipment can operate in a wide frequency band (from mHz to kHz) and supports as well dozens of sensors of several types in the UFL band. Since the system is computerized, it can perform simple calculi and programming in real time. For this reason, event occurrence alarm could also be implemented, so that events demanding more detailed analysis could be reported to remote operators (in case some network connection be available).

Figure 1. a) Monitoring unit with 3 magnetic probes and GPS for time synchronization. b) one type of magnetic probe (disassembled)

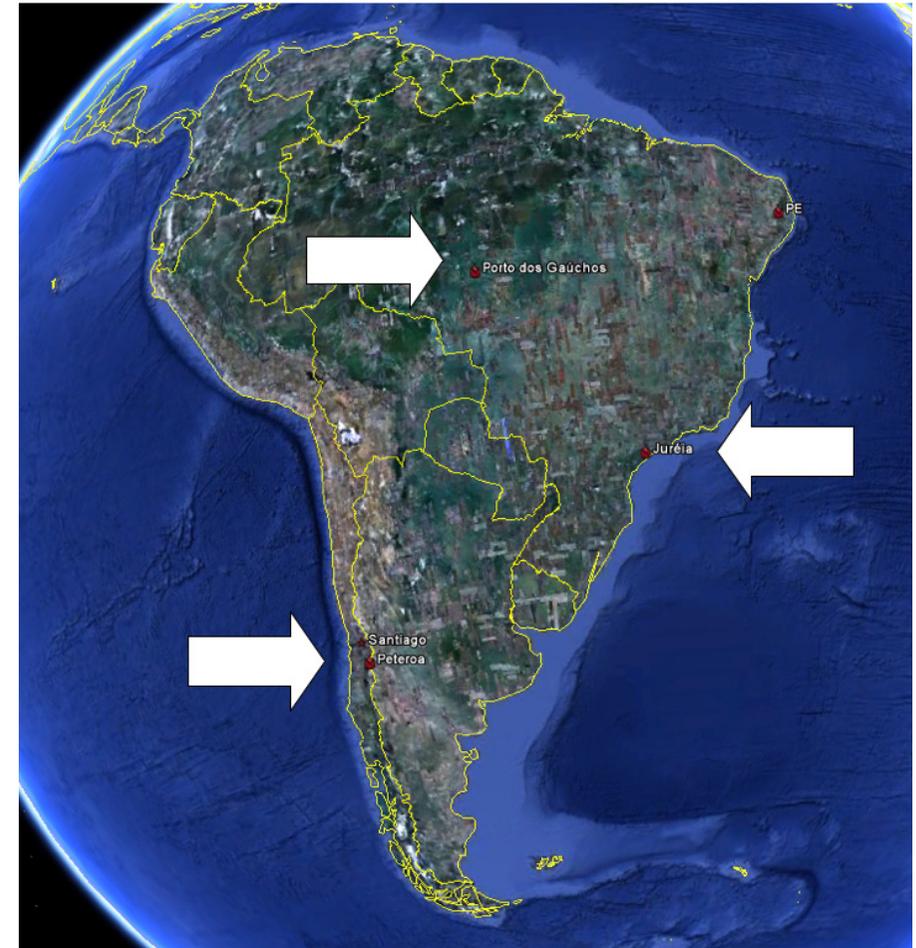


Since access to the monitoring site is limited to three months a year (January to March) due to weather conditions, and since there is not a satellite connection to the site at present (which would make possible collected data along the year), the control unit capacity for data storage was designed for a whole operating year, with four channels and sampling rate of 50 Hz per channel.

THEIA NETWORK FOR GEO-ENVIRONMENTAL SENSING

Besides the Peteroa sensing unit, two others will be installed during 2011. One of these will be located in Jureia, near São Paulo city, Brazil, a region fairly isolated from cultural noise and tectonic instabilities. The other will be placed in the region of Porto dos Gauchos, in the Brazilian state of Mato Grosso. This last locality is situated on a geological fault, presenting seismic activities up to 6.6 on the Richter Scale.

Figure 2. Position of Theia network monitoring units for 2011: 1) Peteroa, AR; 2) Jureia, BR; Porto dos Gauchos, BR



In fact, the three monitoring points (Peteroa, Jureia and Porto dos Gauchos) represent the first nodes of a wider network, the Theia network for geo-environmental sensing (Figure 2). The Theia network is an international project that aims aggregating a group of monitoring units distributed throughout South America.

In its original conception each monitoring unit will be able to detect magnetic disturbances in the range of 0.01 Hz to 20 kHz, ground electric field fluctuations and infrasound. Additionally, the units are required to be energetically autonomous and be able to automatically store data, besides counting on an additional capacity of data transmission too. Each unit will be time synchronised with all the others through a GPS. The collected data will be available on the Internet for scientific researches.

The data collected is intended to supply information for geo-environmental studies in tectonics, volcanism, atmospheric electric activities (lightning in troposphere and sprites in mesosphere), detection of climatic instability fronts and meteor occurrence. In addition, an important expected side result is promoting the development of signal processing methods focused on event detection, as well as on source separation and adaptive filtering.

CONCLUSIONS

A monitoring magnetic system was presented with the aim of detecting precursors of seismic and volcanic activities, in the range 0.01 Hz to 10 Hz. The system is intended to be installed at the Planchon-Peteroa volcano monitoring station, in Argentina. The unit is able to monitor the three components of the magnetic fluctuation vector and presents storage capacity for a whole year of data collection. Besides tectono-volcanic activities, probes are also able to monitor the solar wind activity in the ionosphere and Schumann resonances. The study also describes the concept of the Theia network for geo-environmental sensing that, in 2011, will count on two more additional units to the Peteroa one, these intended to be installed in Brazil. It is expected that, collaboration within scientific community, will permit the Theia network to reach South-American scale.

REFERENCES

- [1] Del Negro, C. & Ferrucci, F.; 2000. Volcanomagnetic effects at Vulcano Island (Aelian archipelago, Italy); *Geophysics Journal International*; 140
- [2] Del Negro, C.; Napoli, R.; & Sicali, A., 2002. Automated system for magnetic monitoring of active volcanoes, *Bull Volcanol*, 64
- [3] Fraser-Smith, A.C.; Bernardi, A.; McGill, P.R.; Ladd, M.E.; Helliwell, R.A. & Villard, O.G.; 1990. Low-Frequency magnetic field measurements near the epicentre of the Ms 7.1, Loma Pireta Earthquake, *Geophysics Letter*; 17
- [4] Johnston, M.J.S.; 1997. Review of electric and magnetic fields accompanying seismic and volcanic activity; *Surveys in Geophysics*, 18
- [5] Georgiadis, P.; Cavouras, D.; Sidiropoulos, K.; Ninos, K. & Nomicos, C.; 2009. Remote monitoring of electromagnetic signals and seismic events using smart mobile devices; *Computers & Geosciences*; 35
- [6] Hayakawa, M.; Kopytenko, Yu.; Smirnova, N.; Troyan, V. & Peterson, Th.; 2000. Monitoring ULF Magnetic Disturbances and Schemes for Recognizing Earthquake Precursors; *Phys. Chem. Earth (A)*, 25(3)
- [7] Hayakawa, M.; Hatorri, K. & Ohta, K.; 2007. Monitoring of ULF geomagnetic variations associated with earthquakes; *Sensors*, 7
- [8] Kolar, P.; 2010. Some possible correlations between electro-magnetic emission and seismic activity during West Bohemia 2008 earthquake swarm; *Solid Earth Discussions*.; 2
- [9] Kotsarenko, A.; Molchanov, O.; Hayakawa, M.; Koshevaya, S.; Grimalsky, V.; Pérez Enríquez, R. & López Cruz-Abeyro, J.A.; 2005. Investigation of ULF magnetic anomaly during Izu earthquake swarm and Miyakejima volcano eruption at summer 2000, Japan; *Natural Hazards and Earth System Sciences*; 5
- [10] Kotsarenko, A.; Grimalsky, V.; Pérez Enríquez, R.; Valdez-González, C.; Koshevaya, S.; López Cruz-Abeyro, J.A.; & Yutis, V.; 2007. Volcano Popocatepetl, Mexico: ULF geomagnetics anomalies observed at Tlamacas station during March-July, 2005; *Natural Hazards Earth Syst. Sciences*, 7
- [11] Park, S.K., 1997. Electromagnetic precursors to earthquakes: a search for predictors; *Science Progress*, 80(1)
- [12] Uyeda, S.; Hayakawa, M.; Nagao, T.; Molchanov, O.; Hatorri, K.; Orihara, Y.; Gotoh, K.; Akinaga, Y. & Tanaka, H.; 2002. Electric and magnetic phenomena observed before the volcano-seismic activity in 2000 in the Izu Island Region, Japan; *PNAS*, 99(11)

- [13] Zlotnicki, J.; Bof, M.; Perdereau, L.; Yvetot, P.; Tjetjep, W.; Sukhyar, R.; Purbawinata, W. & Suharno; 2000. Magnetic monitoring at Merapi volcano, Indonesia; *Journal of Volcanology and Geothermal Research*; 100
- [14] Zlotnicki, J.; Le Mouel, J.L.; Kanwar, R.; Yvetot, P.; Vargemezis, G.; Menny, P. & Fauquet, F.; 2006. Ground-based electromagnetic studies combined with remote sensing based on Demeter mission: A way to monitor active faults and volcanoes; *Planetary and Space Science*, 54
- [15] Comon, P.; Jutten, C.; *Handbook of Blind Source Separation*, Academic Press, 2010.
- [16] Everit, B. S.; Hothorn, T.; *A handbook of statistical analysis using R*; 2nd edition, CRC Press, 2010.
- [17] GVP, 2010; Global Volcanism Program; <http://www.volcano.si.edu/world/volcano.cfm?vnum=1507-04=&volpage=erupt>; acessado em 09/08/2010

Paseo natural puerta del bordo. Bases para una propuesta ecoturística en la Villa Serrana de Alpa Corral.

RESUMEN

A escala mundial el ecoturismo registra un avance sin precedentes. Este auge suele ser observado como una oportunidad para el turismo ambientalmente responsable. El presente trabajo tiene por objeto traducir la definición de ecoturismo en una propuesta concreta en Alpa Corral, implementando cuatro etapas estratégicas: caracterización general de la localidad, elaboración de las bases para la propuesta ecoturística, experiencia piloto y difusión. Se realizó la caracterización general de la localidad. Se describieron los recursos naturales (geológicos, florísticos y ornitológicos) en forma general. Se identificaron los recursos naturales escénicos, relacionándolos con manifestaciones socioculturales de la región (saber popular). Se elaboraron las bases para una propuesta ecoturística teniendo en cuenta el planteo de recorridos en donde se definieron puntos para la observación ambiental, se identificaron y describieron los recursos naturales con atractivo ecoturístico, se realizó la experiencia piloto y mediante un ciclo de charlas se efectuó la difusión en Alpa Corral. Queda entonces una puerta abierta para el desarrollo ecoturístico de esta villa serrana como así también adaptable a otros sitios en donde se promulgue el desarrollo local y la conservación ambiental, teniendo en cuenta que el ecoturismo no solo brinda una alternativa económica para una comunidad sino que le permite a esa comunidad un desarrollo integral y sostenible de su identidad y de su entorno, revalorizando las bellezas paisajísticas y naturales que la rodea, promoviendo la conservación ambiental y mostrando al turista además, su historia, su cultura y sus costumbres.

Agradecimientos: Sofía Barberis, Santiago Giayetto, Fabricio Salusso, César Nuñez Américo Degioanni, Diego Tello, Natalia D'Luca y José Roure, sin ellos nada de esto hubiera sido posible

L.M. Paton (1).

1 Universidad Nacional de Río Cuarto (UNRC), RN 36 km. 601, Río Cuarto, Argentina
lucaspaton@hotmail.com

INTRODUCCIÓN

El turismo es una de las industrias más importantes y de mayor crecimiento en el mundo. En los países cuyo medio ambiente natural es atractivo para los turistas se considera que el turismo es un sector de crecimiento prometedor [1]

A escala mundial el ecoturismo registra un avance sin precedentes. Si consideramos que la enorme mayoría de los turistas viajan motivados por la admiración, la recreación o para estudiar sitios de valor natural y cultural. Este auge suele ser observado de dos formas: como una oportunidad para el turismo o como una amenaza para la conservación del patrimonio natural y cultural [2].

El Ecoturismo, definido como, "modalidad turística ambientalmente responsable consistente en visitar entornos naturales con el fin de apreciar la naturaleza (así como de cualquier manifestación cultural) que promueve la conservación, tiene bajo impacto de visitación y propicia un involucramiento activo y socioeconómicamente benéfico de las poblaciones locales" [3], surge como consecuencia de un avance en el grado de concientización de la gente respecto a la conservación del medio ambiente y emerge como una alternativa interesante de turismo responsable, logrando un equilibrio social, ambiental y económico.

Se entiende por lo tanto que las comunidades locales son muy importantes en el proceso de desarrollo de actividades ecoturísticas. Ellos deben ser los principales beneficiarios y artífices de las propuestas de ecoturismo que se planteen. Por su parte los técnicos debemos acompañar el proceso de desarrollo, entendiendo que el principal objetivo es el fortalecimiento de la comunidad local a través del reencuentro con su entorno, la revaloración de su identidad, la inclusión social y el desarrollo económico.

El conocimiento científico en Argentina ha aportado información a través de innumerables trabajos de investigación referida a los recursos naturales y culturales. Este conocimiento generado encuentra al ecoturismo como una disciplina demandante de dicha información. Es por ello que para aprovecharla al máximo debe ser revisada y traducida a un lenguaje de mayor alcance popular, acorde a un interés general. Además es interesante tener en cuenta que el ecoturismo aborda conocimientos de ramas muy diversas como las ciencias naturales, sociales y económicas lo que hace imperioso generar grupos interdisciplinarios de profesionales que cumplan estas tareas.

El turismo es una de las pocas actividades que en Argentina ha demostrado un crecimiento sostenido [4]. La provincia de Córdoba, enclave turístico por su ubicación, no escapa a la realidad nacional, cada año visitan nuestra provincia aproximadamente 3.000.000 de turistas provenientes principalmente de Capital Federal y de provincias como Buenos Aires, Santa Fe y el interior de la provincia de Córdoba [5]. Muchos de estos turistas, en general familias con niños no mayores de 14 años y jóvenes quienes buscan un contacto con la naturaleza lejos del bullicio urbano, eligen el corredor turístico "Sierras del sur" (Río de los Sauces, Alpa Corral, Las Albahacas y Achiras). Estas comunidades serranas, alejadas hasta hace muy poco por vías de acceso deficientes, han logrado conservar los atributos naturales y culturales, por lo tanto son sitios interesantes para incorporar al ecoturismo como estrategia de conservación.

Entre las villas de las Sierras del sur se destaca la localidad serrana de Alpa Corral, ubicada a 75 km. al noroeste de la ciudad de Río Cuarto. Su belleza paisajística acompañada por su riqueza natural y cultural hace de esta villa serrana un lugar atractivo para el desarrollo de actividades ecoturísticas. El presente trabajo tiene por objeto, mediante la implementación de cuatro etapas estratégicas, traducir la definición de ecoturismo en una propuesta concreta en la villa serrana de Alpa Corral, revalorando los atributos escénicos de la naturaleza a partir del conocimiento científico y el saber popular y brindando una nueva alternativa de turismo ambientalmente responsable en las Sierras del sur de Córdoba.

DESARROLLO EXPERIMENTAL

La localidad de Alpa Corral se encuentra ubicada en la provincia de Córdoba, Argentina (32° 42' latitud sur y 64° 48' longitud oeste), a 75 km. al NO de la ciudad de Río Cuarto y a 185 km. al SO de la ciudad de Córdoba (Figura 1). En la porción sureste de la cadena

serrana de Comechingones, conocida turísticamente como Sierras del sur. Presenta un clima templado sub-húmedo con estación invernal seca.

Se plantearon cuatro etapas estratégicas: Caracterización general de la localidad, elaboración de las bases para la propuesta ecoturística, experiencia piloto y difusión.

Caracterización general de la localidad

Se tuvo en cuenta: consultas a la municipalidad, establecimientos educativos, entidades sociales y referentes locales. Para la caracterización se adaptaron los criterios de Tello (2007) [6], entre los que se destacan: descripción general de la localidad (número de habitantes y base económica), contexto regional, afluencia turística, infraestructura y potencialidades y deficiencias.

Elaboración de las bases para la propuesta ecoturística

Se definió el sitio de interés ecoturístico teniendo en cuenta los siguientes criterios: entorno paisajístico, presencia de cursos de agua, formaciones geológicas (cerros), diversidad de ambientes (Formaciones vegetales) y vistas panorámicas [7].

Los recursos naturales (geológicos, florísticos y ornitológicos) se caracterizaron siguiendo las metodologías de Villalba (1999) [8] y Maceda et al (2001) [9]. Además se realizaron censos fitosociológicos utilizando el método de Braun-Blanquet (1979) [10] y se determinaron las formaciones vegetales de acuerdo a Bianco et al (1987) [11]; y los grupos de aves de acuerdo al hábitat definido por Narosky e Yzurieta (2003) [12].

Las bases para una propuesta ecoturística se elaboraron de acuerdo a: la definición del sitio de interés ecoturístico en donde se identificaron los puntos de observación ambiental y se describieron los recursos naturales con atractivo ecoturístico (especies emblemáticas del lugar conocidas por sus usos y costumbres, especies endémicas y exóticas introducidas presentes en el recorrido) [7].

Experiencia piloto

Se diseñaron dos recorridos pedestres: "Montes del Talita" y "Cerro Blanco" de 4000 y 6000 m de longitud. En cada uno de los circuitos se definieron distintos puntos según las diferentes temáticas consideradas (vegetación, aves, cerros, rocas, arqueología e historia del lugar), teniendo en cuenta la vinculación de los mismos con habitantes locales para que transmitieran sus vivencias a los turistas [13].

Desde el municipio se brindó la posibilidad de ocupar un espacio en la oficina de informes turísticos, a fin de ofrecer el servicio durante la temporada estival. Se solicitó el permiso para la realización de las caminatas a los propietarios de los campos en cuestión. Se gestionó un seguro de responsabilidad civil para cubrir posibles eventualidades. Se procedió a la elaboración de diferentes formas de difusión: folletos, afiches, publicidad radial y remeras. Se colocaron carteles informativos en diversos sitios de afluencia masiva, poniendo énfasis en mostrar la innovación de la propuesta para Alpa Corral. También se elaboró una cartilla para entregar a los turistas que realizaran alguna de las caminatas. En ella se incluyeron algunos de los contenidos que se abordaron en la salida: definición de ecoturismo y caracterización general del lugar, tomando algunas especies representativas de plantas y aves, así como también algunas leyendas sobre las mismas [7]. Las caminatas se realizaron por la mañana, aprovechando la mayor actividad de las aves y condiciones de temperatura adecuadas. Con el objeto de disfrutar tranquilamente de un paseo pedestre, se planteó un andar muy distendido y con varias pausas, siendo la duración promedio de 5 hs. Se tuvo en cuenta además, una pausa más prolongada, con mate, pan y dulces caseros de por medio, en que los turistas podían conocerse y compartir un momento ameno. Al finalizar cada salida, con el objeto de llevar un registro y mantener un contacto con los turistas, se tomó una fotografía del grupo y se apuntaron los correos electrónicos. En la segunda temporada se planteó al colegio secundario un régimen de voluntariados para que los estudiantes pudieran compartir la experiencia.

Difusión

El ciclo de charlas consistió de cuatro encuentros de dos horas cada uno, divididos en dos módulos. Las charlas fueron de entrada libre y gratuita, y se realizaron en el IPEM N° 119 “Néstora Zarazaga” de la localidad de Alpa Corral. Las mismas estaban destinadas a los estudiantes del instituto secundario y al público en general. Al finalizar el ciclo de charlas se realizó una salida a campo para fortalecer los conceptos brindados.

RESULTADOS

Caracterización general de la localidad

La villa serrana de Alpa Corral es una de las localidades con mayor afluencia turística, con aproximadamente un arribo de 60.000 personas por año. Destacándose un porcentaje proveniente principalmente de los grandes centros urbanos (Buenos Aires y Rosario) que llega a Alpa Corral en busca de tranquilidad y contacto con la naturaleza (Figura 2). Su base económica se asienta principalmente en la ganadería extensiva y la actividad turística [14].

Se expresan en un análisis FODA (Tabla 1) las potencialidades y deficiencias de la localidad de Alpa Corral con respecto al desarrollo turístico.

Tabla 1: Análisis FODA

Fortalezas

- Excelente entorno natural, gran diversidad de paisajes y río cristalino, acompañados por la tranquilidad de una pequeña villa serrana.
- Asentamientos arqueológicos interesantes y rica cultura popular.
- Expansión turística, mejora de la oferta y calidad de alojamiento.
- Escuela secundaria con orientación turística.

Debilidades

- Inadecuado estado actual de las vías de acceso, con problemas de erosión hídrica y falta de construcciones viales (puentes, alcantarillado).
- Afluencia turística reducida únicamente a los meses estivales.
- Falta de desarrollo de actividades alternativas fuera de temporada.
- Falta de planeamiento y desarrollo urbano referido a la preservación de los atractivos turísticos.

Oportunidades

- Pavimentación de la ruta provincial 23 denominada “ruta de la costa”, tramo El Esquinazo-Alpa Corral.
- Demanda creciente de entornos naturales y tranquilos por parte de personas residentes en grandes centros urbanos.
- Reactivación económica del país, lo que implica mayor movimiento turístico nacional.
- Tipo de cambio atractivo para turistas extranjeros.

Amenazas

- Intervención al entorno natural y cultural debido al incremento turístico por la pavimentación de la “ruta de la costa”.

Elaboración de las bases para la propuesta ecoturística

El sitio de interés ecoturístico, denominado “Paseo natural Puerta del Bordo”, se encuentra ubicado a 2 km. al noroeste de la localidad de Alpa Corral, al que se accede por un camino público que une a esta localidad con el paraje denominado Unión de los Ríos.

Es un sector de unas 500 has. conformado por cuatro establecimientos agropecuarios dedicados principalmente a la cría bovina. El sitio posee como curso principal el río "El Talita", ubicado en el sector norte. Se encuentra en el ámbito de la provincia geológica Sierras Pampeanas de Córdoba y San Luis, dominadas principalmente por rocas metamórficas y graníticas de origen ígneo [8]. Pertenece a la provincia fitogeográfica chaqueña, distrito serrano [15]. Se determinaron 245 especies de las cuales 205 son nativas, 16 de ellas corresponden a endemismos de la región centro de Argentina y 40 son especies exóticas introducidas o naturalizadas [16]. Se identificaron cinco formaciones vegetales: Bosque serrano y su variante degradada, Pastizal-Arbustal, Mallín, Vegetación Riparia y Bosque artificial de "Pino" *Pinus elliottii* [7]. El sitio se encuentra ubicado en el ámbito de la provincia ornitogeográfica Chaqueña distrito Serrano [17]. En ella se pueden observar unas 118 especies de aves que se llevan registradas hasta el momento en la localidad de Alpa Corral. De acuerdo al hábitat se identificaron cuatro grupos de aves denominados: Aves de bosque, Aves de sitios abiertos, Aves de ríos y arroyos, y Aves de diversos hábitats [7].

Desde el punto de vista escénico se destaca: La presencia de los cerros Blanco y Queso, muy conocidos por habitantes y turistas que frecuentan la localidad de Alpa Corral. Presencia de formaciones vegetales, las cuales brindan gran diversidad florística y ornitológica. Presencia de sectores con excelentes vistas panorámicas al paraje Unión de los ríos, al cerro Blanco, cerro El Queso y a las sierras de Comechingones.

EXPERIENCIA PILOTO

Cerro Blanco



En esta caminata el principal atractivo es el ascenso al cerro Blanco, el más alto en las proximidades del pueblo (unos 1100 msnm), desde el cual se disfruta de unas excelentes vistas (Figura 3). En el trayecto hasta la base del cerro pueden apreciarse hermosos ambientes y paisajes serranos, permitiendo abordar las diferentes temáticas planteadas.

Montes del Talita



Este circuito se realiza por un hermoso sendero serrano, caracterizado por su vegetación nativa y por sus destacadas vistas al río Talita y al pinar, pasando también por el cerro Chato, de moderada altura, pero suficiente como para poder apreciar parte de la llanura (Figura 4).

Se incluye además la visita a una familia que habita en una típica vivienda serrana apartada de la localidad, cuyo medio de subsistencia es la elaboración de esencias medicinales a partir del uso de diversas plantas.

Con esto los turistas pueden conocer varios aspectos que hacen a un modo de vida diferente (obtención de agua, elaboración de pan y otros alimentos, la experiencia de vivir alejado de las comodidades que brinda una población).

Difusión



Se realizaron cuatro encuentros en el establecimiento educativo, uno por mes, durante marzo, mayo, octubre y noviembre. En los mismos asistieron estudiantes, profesores y autoridades del colegio; autoridades locales (intendente y miembros del consejo deliberante) y público en general (Figura 5). Los dos primeros encuentros se basaron en brindar información básica acerca

de la vegetación, flora y avifauna de la zona, haciendo hincapié en formaciones vegetales, especies de aves y plantas más conocidas y emblemáticas de la región. En el penúltimo encuentro se abordó la temática ambiental analizando el bosque nativo y su situación actual, la problemática ambiental en Alpa Corral, generando un espacio de debate e intercambio de ideas para preservar el medio ambiente. El último encuentro fue el elegido para presentar al ecoturismo como alternativa

turística para la conservación. Se hizo referencia al tipo de turista que visita Alpa Corral, que alternativas le ofrece la comunidad para satisfacer sus necesidades, se reflexionó sobre los atractivos de la villa serrana y se concluyó en que el entorno natural juega un papel muy importante. Por último se presentó la experiencia piloto realizada, intentando mostrar una alternativa concreta de actividades ecoturísticas en Alpa Corral.

CONCLUSIÓN

El ecoturismo es una de las tantas estrategias que intentan brindar alternativas sustentables para el uso de los recursos naturales. Es por eso que como técnicos debemos abordar la problemática ambiental como un “todo”, entendiendo que la sola aplicación del ecoturismo como estrategia de conservación no logrará cumplir con las premisas antes mencionadas.

Una comunidad puede desarrollar actividades de ecoturismo conjuntamente con otras estrategias de conservación. En otras palabras el ecoturismo debe formar parte de un plan integral de desarrollo responsable con su medio ambiente, incluyendo a la educación como una de sus principales herramientas. Queda entonces una puerta abierta y una pequeña contribución para el desarrollo ecoturístico de esta villa serrana, como así también adaptable a otros sitios en donde se promulgue el desarrollo local y la conservación ambiental, teniendo en cuenta que el ecoturismo no solo brinda una alternativa económica para una comunidad sino que le permite a esa comunidad un desarrollo integral y sostenible de su identidad y de su entorno, revalorizando las bellezas paisajísticas y naturales que la rodea, promoviendo la conservación ambiental y mostrando al turista además, su historia, su cultura y sus costumbres.

REFERENCIAS

- [1] Naciones Unidas, 2001, Comisión sobre el Desarrollo Sostenible constituida en comité preparatorio de la Cumbre Mundial sobre el Desarrollo Sostenible, Informe del Secretario General, Nueva York, Estados Unidos.
- [2] Bertonatti C., 2002, Una alianza entre el patrimonio natural y cultural, Rev. Gerencia Ambiental (85): 266-275, Buenos Aires, Argentina.
- [3] UICN- The World Conservation Union, 1997, Resolutions and Recommendations, World Conservation Congress, pag. 60, Montreal, Canadá.
- [4] Bertonatti C. y Corcuera J., 2000, Situación Ambiental Argentina 2000, Fundación Vida Silvestre Argentina, Buenos Aires, Argentina, 431
- [5] Keegan, R. y Keegan, J., 1999, Córdoba, provincia turística. Guías Turísticas 1999, Keegan y Keegan, Córdoba, Argentina.
- [6] Tello, D., 2007, Factibilidad Económica de un Microemprendimiento Ecoturístico en Alpa Corral, Trabajo final de Licenciatura en Administración de Empresas, Facultad de Ciencias Económicas, U. N. R. C., Río Cuarto, Córdoba, Argentina. (inédito)
- [7] Paton L., 2007, Paseo Natural Puerta del Bordo bases para una propuesta ecoturística en la villa serrana de Alpa Corral, Trabajo final para optar al grado de Ingeniero Agrónomo, Facultad de Agronomía y Veterinaria, U. N. R. C., Río Cuarto, Córdoba, Argentina. (inédito)
- [8] Villalba G., 1999, Estudio geohidrológico con énfasis en la geoquímica del flúor de la cuenca del río El Talita, Dpto. Río Cuarto, Córdoba, Trab. final de Lic. en Geología, Fac. de Cs. Exactas U. N. R. C., Río Cuarto, Córdoba, Argentina. (inédito)
- [9] Maceda, J., M. Mero, H. Riesco y M. Dolsan, 2001, Lista de aves de la reserva Parque Luro, La Pampa, Rev. U. N. L. Pam 12 (2) 47:59, Santa Rosa, La Pampa, Argentina.
- [10] Braun-Blanquet, J., 1979, Fitosociología. Bases para el estudio de las comunidades vegetales, Blume Ediciones, Madrid, España.
- [11] Bianco C., T. Kraus, D. Anderson y J.J. Cantero, 1987, Formaciones vegetales del suroeste de la provincia de Córdoba (República Argentina), Rev. UNRC 7 (1): 5-66, Río Cuarto, Córdoba, Argentina.
- [12] Narosky T. y D. Yzurieta, 2003, Guía para la identificación de las Aves de Argentina y Uruguay, 15ta Edición, Vazquez-Mazzini Editores, Buenos Aires, Argentina, 346 pp.
- [13] Giayetto S y L Paton, 2010, Ecoturismo en Alpa Corral (Córdoba): Una práctica de caminatas guiadas, V Congreso Iberoamericano de Ambiente y Calidad de Vida 6to Congreso de Ambiente y Calidad de Vida, S. F. del Valle de Catamarca.
- [14] Becerra, V. y Otros, 1999, ADESUR Plan Director, Asociación Interinstitucional para el Desarrollo del Sur de Córdoba, U. N. R. C., Secretaría Técnica de ADESUR, Río Cuarto, Córdoba, Argentina, 99 pp.
- [15] Cabrera A.L, 1976, Enciclopedia de Agricultura y Jardinería Regiones Fitogeográficas Argentinas, 2da Edición., ACME, Buenos Aires, Argentina, Tomo II, Fasc. 1, 85 p.
- [16] Zuloaga, F. y O. Morrone, 1999, Catálogo de plantas vasculares de la República Argentina, Missouri Botanical Garden Press, Estados Unidos, 1269 pp.
- [17] Nores M., 1987, Zonas Ornitogeográficas, En: Narosky T. y D. Yzurieta, 1987, Guía para la identificación de las Aves de Argentina y Uruguay, 1ra Edición, Vazquez-Mazzini Editores, Buenos Aires, Argentina, pág. 297:303.

Relación espacial y temporal entre el crecimiento radial de *Pinus pinea* L. y factores climáticos

S. Piraino (1),

S. Camiz (2).

1 LADyOT-IADIZA-CCT Mendoza

2 Dipartimento di Matematica Guido Castelnuovo. Sapienza Università di Roma, Italy
sergio.piraino@gmail.com

RESUMEN

Este trabajo presenta algunos análisis dendrocronológicos y dendroclimáticos efectuados sobre 6 poblaciones de *Pinus pinea* L. distribuidas a lo largo de una transecta latitudinal en las costas de centro Italia. Se analizó un periodo común (1949-2003) para investigar las señales comunes a las poblaciones. Las relaciones con los factores climáticos se evidenciaron a través del cálculo de correlaciones simples, por el ancho de anillo y las dos partes que lo componen, o sea la madera temprana y la madera tardía. Se calculó el Análisis de Componentes Principales (ACP) y se calcularon las correlaciones con las cronologías construidas con las primeras componentes. Los análisis temporales han sido efectuado a través del cálculo del Índice de Área Basal (BA), para minimizar la influencia del año previo el crecimiento sobre el año corriente. BA ha sido utilizada también para evidenciar las posibles relaciones con la Oscilación de Atlántico Norte (NAO) y el índice de estrés hídrico de Palmer (PDSI) a baja frecuencia, para obtener un resultado mas completo.

INTRODUCCIÓN

Los modelos calculados por el IPCC [1] indican como el proceso de calentamiento global impactará sobre el área Mediterránea provocando un aumento general de episodios de sequías en las próximas décadas. La temperatura media anual aumentará, mientras que las precipitaciones disminuirán. De esta manera el periodo de verano será más extenso y más seco. Esta situación podrá provocar como consecuencia una reducción de la humedad del suelo en el verano [2] y su degradación [3]. Por esta razón es importante analizar como los bosques respondan a los factores climáticos [4]. La dendrocronología es una herramienta muy útil para entender los cambios de vegetación en el área mediterránea [5]. El ancho de anillo es la forma anatómica empleada comúnmente para estudiar las dinámicas de los bosques o para reconstruir las variaciones climáticas del

pasado [6]. Varios estudios [5], [7], [8], [9], [10], [11] han encontrado una estrecha relación entre crecimiento radial de *Pinus pinea* L. y los factores climáticos, indicando como esta especie pueda ser considerada una buena indicadora en los estudios dirigidos a un mejor manejo de los bosques costeros del Mediterráneo gracias a su distribución. Sin embargo, considerando la producción científica sobre la especie en sus poblaciones de centro Italia [7], [8], [12], [13], [14] ningún intento ha sido efectuado para analizar una respuesta regional de la especie al clima. Además casi no existen estudios en lo que se consideren también las dos partes que constituyen el anillo anual, o sea la madera temprana y la tardía.

ECOLOGÍA Y DISTRIBUCIÓN DE *PINUS PINEA* L.

Pinus pinea es árbol típico de los paisajes de litoral de centro Italia, utilizado también como especie ornamental en las ciudades. Crece en suelos arenosos: de cualquier manera, puede lograr crecer en otros tipos de suelos, excepto los calcáreos y lo que presentan agua de la freática superficial. Se define como especie eliofila y termofila. Se encuentra principalmente en ambientes litorales, lugares en los cuales crece de manera espontánea y donde ha sido plantado exitosamente para la protección de las dunas.

Una característica única de esta especie, en relación a otras especies del mismo genero que se encuentran distribuidas en el área mediterránea, tiene a que ver con su ciclo reproductivo: *Pinus pinea*, de hecho, presenta un ciclo de 3 años en lugar del ciclo característico de 2 años de las otras pineaceas, debido al intervalo de tiempo entre la formación del gametofito femenino y su polinización. En la literatura [15], [16] se explica esta peculiaridad indicando como la especie pueda haber originado en un ambiente de clima tropical, ambiente en lo que podía utilizar, para el correcto desarrollo del gametofito,

un verano caracterizado por lluvia abundante; luego, cuando se encontró en un clima mediterráneo, caracterizado por la sequía estival, *Pinus pinea* no reduce las grandes dimensiones de su gametofito, si no que atrasó su proceso reproductivo hasta llegar a un ciclo de 3 años. Cabe aclarar que lamentablemente no es posible efectuar estudio palinológicos con esta especie: el polen de *Pinus pinea*, de hecho, no se puede distinguir de otra especie que generalmente lo acompaña, *Pinus pinaster* Ait..

MATERIALES Y METODOS

La dendrocronología es la ciencia que se ocupa de la colocación temporal de los anillos de crecimiento de las plantas arbóreas y arbustivas [17]. A través de esta metodología es posible conocer no solamente la edad de las poblaciones estudiadas, sino que también como los factores ambientales puedan influir sobre el crecimiento radial de los árboles. La dendrocronología resulta formada por numerosas subdisciplinas, según las informaciones que se quieren obtener de las series dendrocronológicas. En este trabajo se estudió la dendroclimatología de la especie, o sea la relación existente entre factores climáticos y crecimiento radial.

Los sitios muestreados se ubican en seis distintas estaciones (Figura 1), entre Toscana (San Rossore-SRO, Cecina-CEC, Duna Feniglia-FEN) y Lazio (Castelporziano-CAS, Lago di Fogliano-LDF, y Parco del Circeo-PDC). Todos los sitios son sitios cercanos al litoral, y caracterizados por un clima de tipo Mediterráneo, que presenta veranos calidos y secos e inviernos fríos y lluviosos. En estas estaciones la especie vegeta en suelos arenosos, y en 3 sitios, San Rossore, Parco del Circeo y Lago di Fogliano, el crecimiento de la especie está beneficiado por la presencia de canales de drenaje. En todos los sitios examinados, *Pinus pinea* crece acompañado por especies de robles siempre verdes y deciduos y por arbustos esclerófilos.

Por cada sitio fueron muestreados 15-20 árboles utilizando un barreno. Se sacó una muestra por árbol a altura de pecho (1.30 m). Lo ancho de los anillos fue medido, siguiendo los protocolos internacionales [18], desde el cambium hasta la medula, con una precisión del centésimo de milímetro gracias a una tabla conectada a una computadora, y luego guardados a través del programa CATRAS [19]. Se efectuaron mediciones de ancho de anillo, madera temprana (parte del anillo formada en el período primavera-verano) y madera tardía (formada en el período otoño-invierno). Las series elementales fueron fechadas y luego chequeadas, primero visualmente, superponiendo las series

elementales, y luego estadísticamente a través de un índice de correlación simple entre las cronologías calculado con el software COFECHA [20]. De esta manera este proceso nos informa sobre la intensidad de la señal común entre las series elementales.

Varios factores pueden influir sobre el crecimiento radial de la planta, como por ejemplo el patrimonio genético, la edad, la fisiología, el sitio en sus características (altura, exposición, litología, suelo, clima), disturbios, y intervención antropica. En los estudios dendrocronológicos y dendroclimáticos, en los que se busca la relación crecimiento-clima, hay que aislar la señal climática presente en la cronología individual desde los otros factores de disturbios. Este proceso se conoce como estandarización. Las series elementales de datos brutos fueron estandarizadas, a través del programa ARSTAN [21] utilizando una función negativa exponencial. Los factores climáticos utilizados fueron la precipitación media mensual, la temperatura media máxima y la temperatura media mínima mensual. Las funciones de correlación fueron calculadas comparando las cronologías medias estacionales estandarizadas con los factores climáticos desde el mes de mayo del año previo el crecimiento hasta el mes de noviembre del año de crecimiento.

Figura 1. Los 6 sitios de muestreo en Italia central



Enfin, para medir las variaciones a lo largo del tiempo en la relación entre crecimiento radial y factores climáticos, se decidió emplear el cálculo del Área Basal (BA), calculo que minimiza la influencia del crecimiento del año t-1 sobre el año t. De esta manera los resultados son más confiables [23]. Se construyeron entonces cronologías a partir de los valor de BA. Las cronologías, una vez estandarizadas, fueron correlacionadas con los valores mensuales de PDSI (Palmer Drought Stress Index) [24], índice que nos informa sobre la humedad del suelo, y NAO (Oscilación del Atlántico Norte) [25]. Los análisis fueron efectuados a un nivel de baja frecuencia. A las series, dendrocronológicas y de índices climáticos, fueron aplicadas medias móviles de 11 años [26]. De esta manera es posible medir la influencia ejercida por estos factores a nivel de décadas.

RESULTADOS

Aunque geográficamente muy cercanos, PDC y LDF fueron analizados separadamente, debido a la diferente edad.

En todos los sitios, el crecimiento radial está influenciado de manera positiva por un periodo primavera-verano (mayo-septiembre) caracterizado por un balance ETP positivo (Tabla 1). Se nota además una relación directa entre crecimiento y P de otoño-invierno del año t-1. Además CEC y CAS, y en menor medida todos los sitios, presentan una correlación directa con unos meses calidos de junio y julio del año t-1. A la luz de estos resultados, se decidió calcular una ACP en búsqueda de una señal macroclimática común para estás poblaciones.

La ACP se calculó para todas las cronologías estacionales por el periodo común 1949-2003. Su primera componente principal (CP1) explica el 41% de la variancia total (Figura 2). Se decidió utilizar las primeras componentes de la ACP relativas a ancho de anillo (Figura 3), madera temprana y tardía para investigar la señal común al crecimiento entre las 6 poblaciones. Las mismas se correlacionaron con los datos climáticos a través de correlaciones simples.

En las funciones de correlación (Figura 4) se nota como el crecimiento común esté influenciado por las características climáticas del periodo primaveral de los años t-1 y t, y por el periodo estival del año t. El crecimiento radial resulta influenciado positivamente por las precipitaciones del mes de mayo, y negativamente por las T máximas de los meses de mayo (año t-1 y t), junio y julio.

Tabla 1 – Funciones de correlación para las cronologías relativas a los sitios de muestreo. P: precipitación mensual, Tmax: temperaturas máximas mensuales, Tmin: temperaturas mínimas mensuales. En las columnas se presentas los valores de las correlaciones por el año previo el crecimiento y el año corriente. En negrita correlaciones significativas al 95%, en cursiva y negrita al 99%.

| Site | CF | Year preceding growth | | | | | | | Year of growth | | | | | | | | | | | |
|------------------|------|-----------------------|--------------|-------------|-------|-------|--------------|--------------|----------------|-------|-------|-------|-------|-------------|--------------|--------------|--------------|--------------|-------------|-------------|
| | | MAY | JUN | JUL | AUG | SEP | OCT | NOV | DEC | Jan | Feb | Mar | Apr | May | Jun | Jul | Aug | Sep | Oct | Nov |
| Cecina | P | -0.14 | -0.26 | -0.09 | 0.13 | -0.21 | 0.15 | 0.12 | 0.43 | 0.18 | 0.16 | 0.09 | 0.20 | 0.20 | 0.04 | 0.02 | -0.02 | 0.19 | -0.13 | -0.07 |
| | Tmax | -0.02 | 0.01 | 0.33 | 0.06 | 0.18 | 0.00 | -0.31 | 0.18 | 0.00 | -0.05 | 0.01 | -0.21 | -0.19 | -0.17 | 0.05 | -0.11 | -0.10 | -0.08 | -0.07 |
| | Tmin | -0.12 | 0.07 | 0.29 | 0.09 | 0.13 | -0.03 | -0.17 | 0.19 | 0.15 | 0.04 | 0.04 | -0.10 | -0.09 | -0.12 | 0.05 | -0.04 | -0.13 | 0.16 | -0.03 |
| San Rossore | P | -0.17 | -0.07 | 0.05 | -0.11 | -0.03 | 0.03 | -0.02 | 0.17 | 0.05 | 0.02 | -0.09 | 0.15 | 0.17 | 0.07 | 0.04 | 0.31 | 0.20 | 0.04 | -0.02 |
| | Tmax | 0.04 | 0.08 | 0.24 | 0.07 | -0.09 | -0.12 | -0.04 | 0.08 | -0.21 | 0.00 | 0.13 | -0.07 | -0.06 | -0.10 | -0.04 | -0.26 | -0.41 | 0.10 | 0.00 |
| | Tmin | 0.00 | 0.01 | 0.26 | 0.05 | -0.15 | -0.05 | -0.08 | 0.14 | -0.19 | 0.03 | 0.07 | -0.02 | -0.11 | -0.12 | -0.04 | -0.26 | -0.34 | 0.18 | -0.02 |
| Duna Feniglia | P | -0.19 | 0.00 | -0.02 | -0.12 | -0.19 | -0.03 | 0.18 | -0.06 | -0.01 | 0.24 | -0.05 | 0.19 | 0.32 | 0.07 | -0.18 | 0.17 | 0.00 | 0.17 | -0.03 |
| | Tmax | -0.02 | 0.01 | 0.33 | 0.06 | 0.18 | 0.00 | -0.31 | 0.18 | 0.00 | -0.05 | 0.01 | -0.21 | -0.19 | -0.17 | 0.05 | -0.11 | -0.10 | -0.08 | -0.07 |
| | Tmin | -0.12 | 0.07 | 0.29 | 0.09 | 0.13 | -0.03 | -0.17 | 0.19 | 0.15 | 0.04 | 0.04 | -0.10 | -0.09 | -0.12 | 0.05 | -0.04 | -0.13 | 0.16 | -0.03 |
| Castelporziano | P | -0.09 | -0.28 | -0.25 | 0.13 | 0.02 | 0.02 | 0.42 | 0.03 | 0.22 | 0.11 | 0.01 | 0.23 | 0.27 | 0.12 | -0.16 | -0.06 | 0.08 | 0.12 | 0.08 |
| | Tmax | -0.25 | -0.01 | 0.22 | -0.17 | -0.05 | -0.34 | -0.22 | -0.09 | -0.17 | -0.04 | -0.01 | -0.21 | -0.21 | -0.22 | -0.23 | -0.07 | -0.07 | -0.19 | -0.01 |
| | Tmin | -0.35 | -0.02 | 0.08 | -0.16 | -0.09 | -0.35 | -0.01 | -0.05 | 0.00 | 0.05 | 0.08 | -0.03 | -0.21 | -0.18 | -0.31 | -0.13 | -0.18 | -0.04 | 0.03 |
| Parco del Circeo | P | -0.21 | 0.06 | -0.11 | 0.07 | -0.17 | -0.16 | 0.04 | 0.07 | 0.17 | 0.10 | 0.20 | 0.16 | 0.18 | -0.02 | -0.10 | 0.29 | 0.27 | -0.13 | 0.00 |
| | Tmax | 0.12 | 0.00 | 0.22 | 0.07 | 0.01 | 0.08 | 0.02 | -0.04 | 0.09 | 0.09 | -0.14 | -0.24 | -0.20 | -0.19 | -0.23 | -0.38 | -0.13 | 0.29 | |
| | Tmin | 0.02 | 0.03 | 0.17 | 0.06 | -0.11 | -0.11 | 0.07 | 0.02 | 0.18 | 0.19 | 0.00 | -0.19 | 0.00 | -0.18 | -0.14 | -0.13 | -0.29 | -0.16 | 0.27 |
| Lago di Fogliano | P | -0.14 | 0.10 | 0.02 | 0.02 | -0.06 | -0.06 | 0.04 | -0.29 | -0.11 | 0.11 | 0.06 | 0.07 | 0.08 | -0.12 | 0.11 | 0.16 | 0.08 | 0.03 | -0.04 |
| | Tmax | -0.31 | -0.12 | 0.09 | -0.06 | 0.12 | -0.25 | -0.26 | 0.00 | 0.03 | 0.10 | -0.14 | -0.14 | -0.14 | -0.32 | -0.13 | -0.20 | -0.24 | -0.14 | 0.10 |
| | Tmin | -0.33 | -0.12 | 0.06 | -0.08 | 0.04 | -0.43 | -0.33 | -0.21 | 0.08 | 0.19 | -0.07 | -0.08 | -0.14 | -0.29 | -0.12 | -0.16 | -0.21 | -0.01 | 0.00 |

Figura. 2. Análisis de Componentes Principales de las 6 series cronologicas. Las series sobre el primero plan factorial.

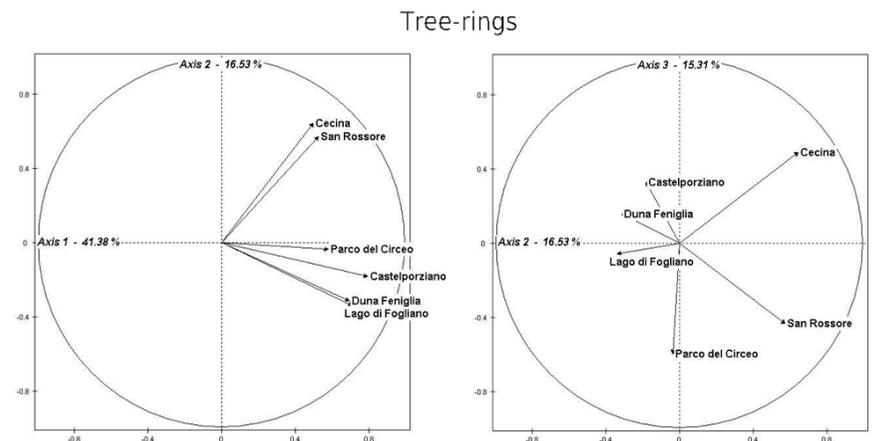
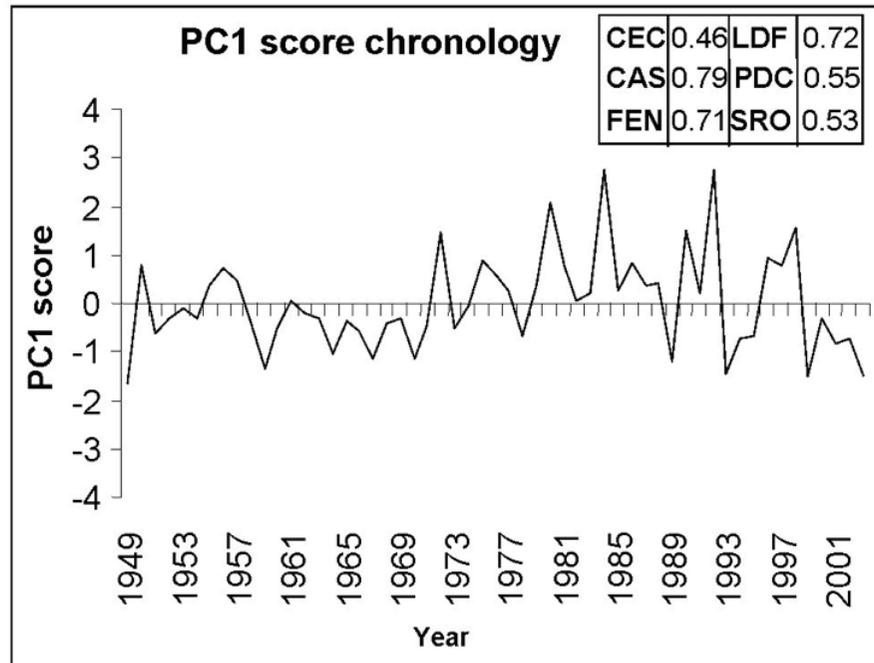


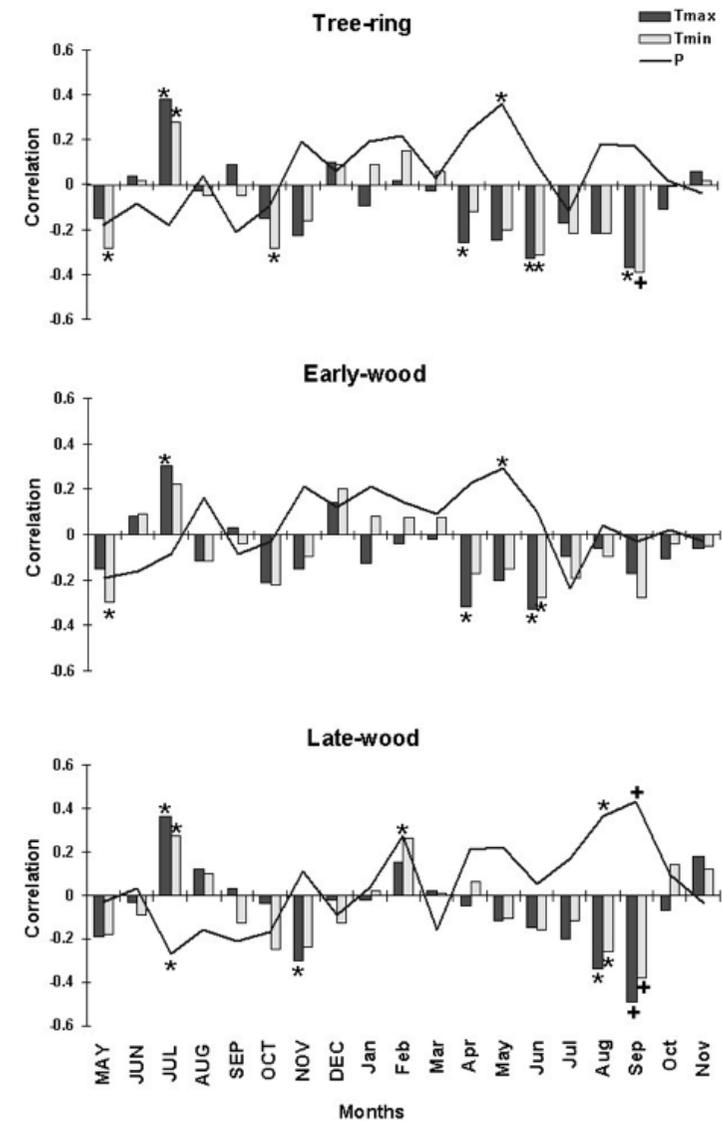
Figura 3. Cronología construida con los valores de la primera componente relativos al ancho de anillo. En la tabla: correlaciones entre la primera componente y cronologías.



Se calcularon también las funciones de correlación por la primera componente de la ACP por la madera temprana y la madera tardía (Figura 4). La primera cosa que resalta es la presencia de señales correlados a factores climáticos que no se encuentran en el análisis de la ACP calculada por el ancho de anillo.

Se puede notar como la formación de la madera temprana resulte influenciada por factores que se encuentran en las funciones de correlación del ancho de anillo, como P mayo y T (año $t-1$ y t) mayo y junio. Se encuentran también relaciones con las T mínimas de septiembre. Las funciones de correlación por la madera tardía (Figura 4) indican como la formación de la misma resulte influenciada positivamente por un periodo estival (agosto-septiembre) caracterizado por un balance de ETP positivo. Se encuentran además correlaciones negativas con las T, máximas y mínimas, del otoño del año $t-1$.

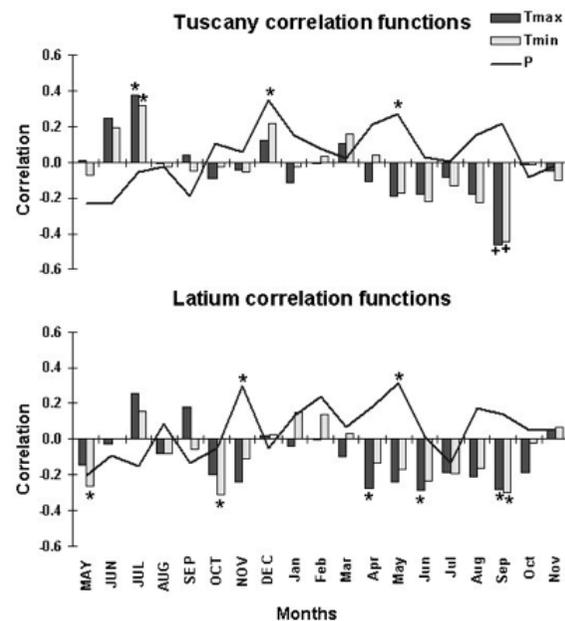
Figura 4. Funciones de correlación calculadas por la primera componente de la ACP relativa al ancho de anillo (Tree-ring), madera temprana (Early-wood), y madera tardía (Late-wood). Los asteriscos indican los valores significativos al 95%, los signos mas los valores significativos al 99%.



Volviendo a considerar el resultado de la ACP decidimos agrupar las cronologías debido a la posición que toman en este análisis. Por esta razón reunimos CEC y SRO por un lado y los demás sitios por el otro. Volvimos a estandarizar las cronologías y a calcular las funciones de correlación. Encontramos (Figura 5) de vuelta unas señales relacionadas con las condiciones de primavera-verano del año t (ETP positiva) y del invierno del año $t-1$ (positivo con P, negativo con T), lo que indica una señal bimodal por lo que concierne las relaciones con el clima.

Quisimos además medir si las relaciones con el clima hayan variado a lo largo de las últimas décadas. Por esta razón consideramos dos sitios (CEC y PDC) dependiendo de su ubicación geográfica y de la edad de la cronología y empleamos el calculo del área basal en lugar del ancho de anillo en la construcción de las cronologías. Por las funciones de correlación vuelven a presentarse resultados ya encontrados anteriormente, y la señal depende mayormente de la ubicación geográfica (mas al sur: mayor presencia de señales relacionadas con el estrés hídrico veranal) (Figuras 6).

Figura. 5. Funciones de correlación calculadas por los dos grupos evidenciados en la ACP. Los asteriscos indican los valores significativos al 95%, los signos mas al 99%



Quisimos además medir la influencia del estrés hídrico, a nivel de décadas, localizando el periodo de interés en los meses que van de mayo hasta septiembre, de los años $t-2$, $t-1$, t . Calculamos una media móvil de 11 años de los datos dendrocronológicos y de PDSI, para poder investigar la señal de baja frecuencia. Encontramos una señal muy fuerte en las dos poblaciones (Figuras 7). Otra vez las diferencias en las señales se pueden explicar considerando la ubicación geográfica de los sitios.

Para investigar los cambios a lo largo de las últimas décadas entre crecimiento y humedad del suelo, promediamos los valores de PDSI que van de mayo a septiembre del año t y calculamos funciones de correlación móviles. Lo que se puede subrayar es como la tendencia a lo largo del tiempo sea compartida por los sitios (Figura 8), o sea una señal cada vez más fuerte a lo largo de las últimas décadas. La significancia es casi inmediata por PDC, mientras que se presenta una demora por la señal de CEC,, probablemente debido a la posición geográfica del sitio y a la joven edad de la población PDC.

Figura. 6. Funciones de correlación calculadas por la cronología de los sitios Cecina y Parco del Circeo construidas con los valores de área basal. Los asteriscos indican los valores significativos al 95%, los signos mas al 99%

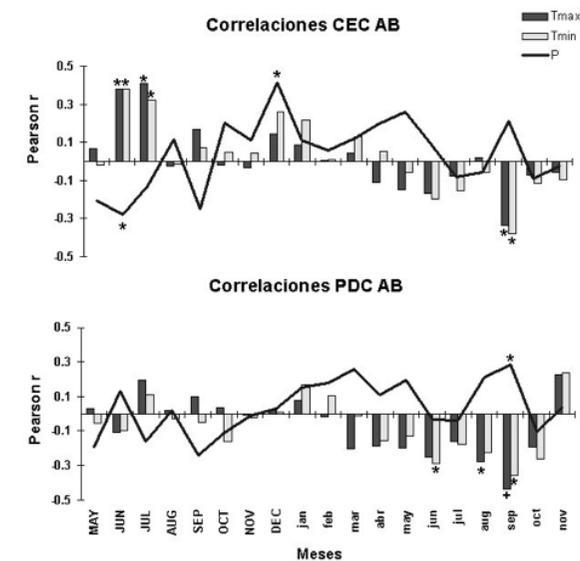


Figura. 7. Funciones de correlación de bajas frecuencias calculadas por las cronologías de los sitios Cecina y Parco del Circeo construidas con los valores de área basa y los valores de PDSI

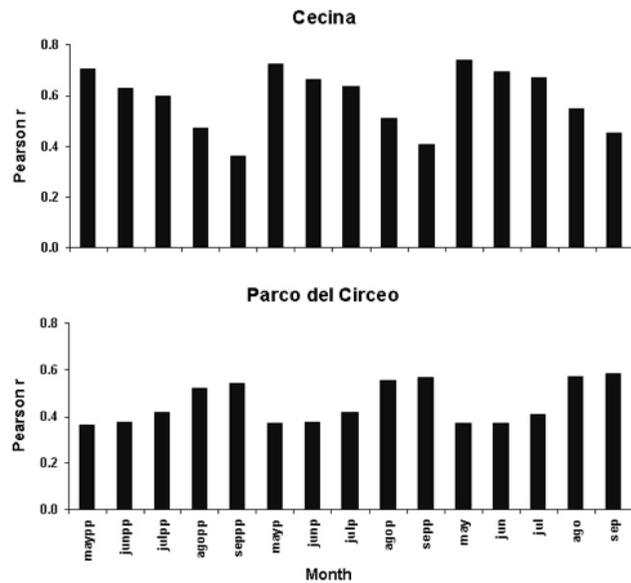
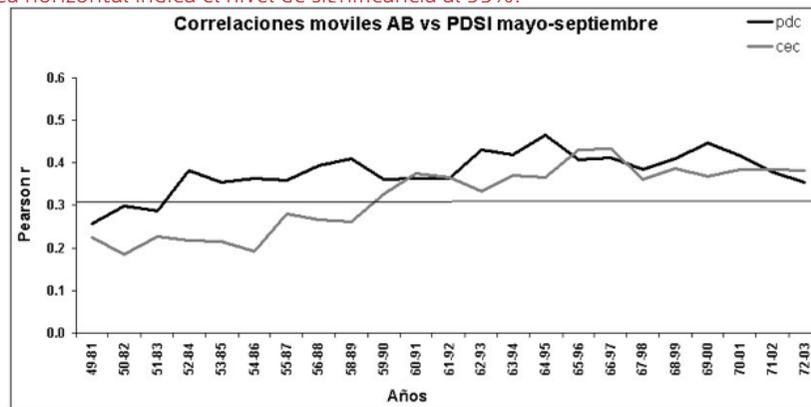
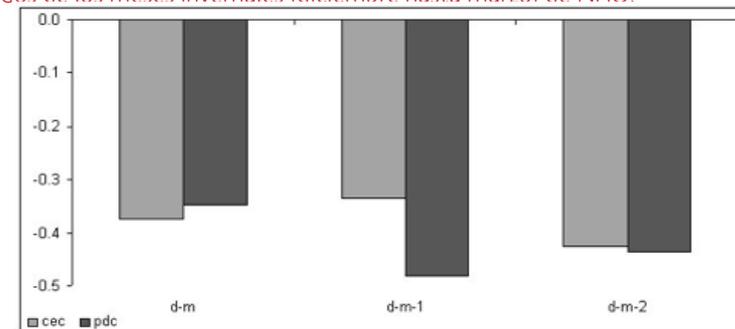


Figura. 8. Funciones de correlación móviles para las cronologías de BA relativas a Cecina y Parco del Circeo y los valores de PDSI promediados desde mayo hasta septiembre. La línea horizontal indica el nivel de significancia al 95%.



Por ende quisimos verificar si existe una relación de baja frecuencia entre crecimiento radial y los valores mensuales de la Oscilación del Atlántico Norte (NAO). Cabe aclarar que este fenómeno atmosférico tiene una muy gran importancia ya que, influyendo directamente sobre las precipitaciones invernales, expresa la importancia de la recarga de la napa freática [25]. Calculamos entonces una media móvil de 11 años [6], [26] sobre los datos dendrocronológicos de las series construidas con los valores de BA y sobre los datos mensuales del NAO. Promediamos los valores invernales (diciembre hasta marzo) y calculamos correlaciones simples entre las series dendrocronológicas y los valores de NAO de los años t-2, t-1 y t (Figura 9).

Figura. 9. Funciones de correlación de bajas frecuencias calculadas para las cronologías de Cecina y Parco del Circeo construidas con los valores de área basal y los valores promediados de los meses invernales (diciembre hasta marzo) de NAO.



Se puede notar como los valores encontrados sean muy elevados y altamente significativos. Esto indica una gran influencia ejercida por los valores invernales de NAO sobre el crecimiento radial a una baja frecuencia. Ya que NAO y precipitaciones son inversamente relacionados, estos resultados indican la importancia de la recarga de la napa freática en los meses de invierno, recarga que luego en los meses de crecimiento permitirá al árbol de utilizar el agua para el desarrollo del anillo.

DISCUSIÓN

Examinando la ACP, se puede notar como el análisis evidencie un importante primer factor, probablemente relacionado con la señal climática común a los sitios. El segundo eje puede indicar la diferente ubicación geográfica. CAS, FEN y LDF presentan valores más elevados (>0.70); los valores más bajos por CEC y SRO pueden ser debidos a la localización de los dos sitios, los más al norte, mientras la posición de PDC es, probablemente, debida a la joven edad de la población.

Considerando las correlaciones por la primera componente de la ACP, podemos observar como la formación del anillo esté influenciada positivamente por una reducida evapotranspiración (ETP) de los meses de primavera y verano (abril hasta septiembre). Este balance positivo de ETP puede haber hecho reducir el estrés hídrico: de esta manera entonces el árbol podrá utilizar el agua y los minerales guardados en el suelo para el desarrollo del anillo. La relación negativa con las T_{min} de octubre del año $t-1$ puede entenderse considerando como, otra vez, bajas temperaturas puedan reducir el estrés hídrico. Las correlaciones positivas con las temperaturas (máximas como mínimas) del mes de Julio del año previo al crecimiento, pueden depender de la presencia de otros eventos reproductivos: de hecho altas temperaturas pueden provocar el aborto de los conos (estructuras reproductivas) [27]. De esta manera el árbol puede reducir el consumo de los productos de fotosíntesis para luego invertirlos el año siguiente en la formación del anillo.

Analizando los resultados obtenidos por las primeras componentes de la ACP calculadas por la madera temprana y tardía, observamos resultados compartidos con los relativos al anillo, pero también señales nuevas. La madera tardía resulta influenciada de manera positiva por un periodo de tarde-primavera-verano que presente un balance positivo de ETP. Este resultado nos puede indicar como la formación de la madera tardía dependa de la cantidad de producto de fotosíntesis, muy sensible al estrés hídrico [10]. La relación con un mes de Julio seco y caliente del año $t-1$ puede entenderse pensando como altas temperaturas y bajas precipitaciones puedan afectar la formación de la madera temprana, favoreciendo de esta manera el desarrollo de la tardía en un segundo momento. Esta última además resulta influenciada positivamente por las precipitaciones del mes de febrero del año corriente y negativamente por las T_{max} de noviembre del año $t-1$, condiciones estas que pueden influir sobre el balance de ETP.

Además, los valores elevados encontrados en el análisis relativo a la madera tardía nos indican una gran sensibilidad de esta parte del anillo a los factores climáticos, dato este que tiene una gran importancia, pensando como en el futuro la atención podrá estar puesta sobre este sector del anillo.

Analizando las correlaciones relativas a los sitios examinados independientemente, se encuentran resultados muy interesantes. La formación del anillo está influenciada positivamente por la presencia de un periodo de otoño-invierno previo al crecimiento caracterizado por elevadas precipitaciones (recarga de la napa freática) y bajas temperaturas (útiles para un prolongamiento de la actividad cambial). San Rossore y Parco del Circeo exhiben señales más fuertes relacionadas con el periodo de primavera-verano. Este resultado puede depender por un lado de la ubicación geográfica de SRO (sitio más al norte) y por la joven edad de PDC [28]. La relación encontrada por PDC relativa a las T de otoño puede explicarse considerando la joven edad de esta población.

Estos tipos de consideraciones además pueden explicar las relaciones encontradas en los cálculos de baja frecuencia por PSDI y NAO. Ya que el crecimiento presenta una respuesta al clima de tipo bimodal, en lo que tienen mucha importancia las condiciones de estrés hídrico de verano y las precipitaciones de invierno, este tipo de comportamiento se presenta no solamente a escala anual sino que también décadas.

Resumiendo los resultados de las funciones de correlación, podemos decir que *P. pinea* se beneficia por la presencia de un periodo de primavera-verano caracterizado por bajas temperaturas. Gracias también a abundantes precipitaciones, esta situación lleva a una mayor actividad fotosintética [29], [30]. Particularmente, la señal relacionada con las precipitaciones del mes de Mayo del año t y las T_{min} del mismo mes pero para el año anterior, encontradas en las correlaciones relativas a las cronologías construidas con los primeros factores de la ACP por anillo y madera temprana, sugieren la estrecha relación que existe entre crecimiento radial y factores climáticos, debido a los efectos provocados por la sequía sobre procesos biológico y reproductivos que tienen lugar en el mismo mes, como la elongación de las ramas, el alargamiento de las yemas y el desarrollo de los conos [27], y además la división del gametofito femenino y su polinización [15], [16]. Los cálculos efectuados con cronologías construidas a partir de BA nos indican como, aunque haya diferencias debidas con mucha probabilidad a la diferente posición geográfica-

fica y a la diferente edad entre las poblaciones examinadas, la influencia de los factores climáticos en los dos momentos más críticos para el desarrollo del anillo (otoño año $t-1$ caracterizado por abundante lluvia, primavera-verano año t por ETP positivo) sean compartidos entre los dos sitios. Esto nos indica entonces como la especie sea relativamente xero-tolerante.

De acuerdo con De Luis [11], observamos además como las T juegan un rol verdaderamente importante en el crecimiento radial de la especie, sobretodo por lo que tiene a que ver con los sitios más sureños. Este resultado no había sido encontrado en trabajos anteriores [7], [8], [14], [31], y nos da indicaciones muy importantes sobre la auto-ecología de la especie.

CONCLUSION

Este estudio nos indica la capacidad explicativa de la metodología dendrocronológica y dendroclimatológica sobre las características de adaptación de una especie arbórea a las variables climáticas.

El análisis dendroclimatológico muestra como las características climáticas (en este caso el balance ETP) del periodo primavera-verano sea el factor más importante por el crecimiento radial de la especie en los sitios examinados. Mayo es un mes clave. Además es importante rescatar como el estudio de las dos partes del anillo aporten informaciones valiosas que no se encuentran en las correlaciones por el ancho de anillo. Por ende hay que subrayar como el crecimiento no esté solamente influenciado por los factores climáticos a nivel anual, sino que también las señales de baja frecuencia, entonces a nivel décadas, ejercen una influencia importante en el desarrollo del anillo anual.

Estos resultados pueden considerarse como un punto de partida para entender la respuesta de estas poblaciones al clima, permitiendo así un mejor manejo de estos bosques.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue realizado en el contexto del proyecto de cooperación bilateral entre la Universidad de Cuyo de Mendoza y Universidad Sapienza de Roma, cuyos responsables científicos son Fidel Roig y Sergio Camiz. El segundo autor también ha sido financiado por la oficina del Agregado Científico de la Embajada Italiana en Buenos Aires. Se agradecen dichas instituciones por su amable contribución.

REFERENCIAS

- [1] IPCC WG I Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I. In: Solomon S, Qin D, Manning M, Chen Z, Marquis M, Averyt KB, Tignor M, Miller HL (eds) Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge.
- [2] Douville, H. Chauvin, F. Planton, S. Royer, J.F. Salas y Méliá, D. Tyteca, S. 2002. Sensitivity of the hydrological cycle to increasing amounts of greenhouse gases and aerosols. *Clim Dyn* 20, 45–68.
- [3] Lavee, H. Imeson, A.C. Sarah, P. 1998. The impact of climate change on geomorphology and desertification along a Mediterranean-arid transect. *Land Degrad Dev* 9(5), 407–422.
- [4] Sarris, D. Christodoulakis, D. Körner, C. 2010. Impact of recent climatic change on growth of low elevation eastern Mediterranean forest trees. *Climatic Change* 1-21. DOI 10.1007/s10584-010-9901
- [5] Cherubini, P. Gartner, B.L. Tognetti, R. Braker, O.U. Schoch, W. Innes, J.L. 2003. Identification, measurement and interpretation of tree rings in woody species from Mediterranean climates. *Biol. Rev* 78, 119-148.
- [6] Fritts, H.C. 1976 *Tree Rings and Climate*. Academic Press. London, UK. 576 pp.
- [7] Cherubini, P. 1993. Studio dendroecologico su *Pinus pinea* L. in due differenti stazioni sulla costa mediterranea in Toscana (Italia). *Dendrochronologia* 11, 87-99.
- [8] Romagnoli, M. Bernabei M 1997. Analisi dendrocronologica preliminare nella Tenuta presidenziale di Castelporziano (Roma). *Linea Ecologica-Economia Montana* 4 ,50-58.
- [9] Akkemik, U. 2000. Dendroclimatology of Umbrella pine (*Pinus pinea* L.) in Istanbul, Turkey. *Tree-Ring Bulletin*, 56, 17-20.
- [10] Campelo, F. Nabais, C. Freitas, H. Gutiérrez, E. 2006. Climatic significance of tree-ring width and intra-annual density fluctuations in *Pinus pinea* from a dry Mediterranean area in Portugal. *Ann. For. Sci.* 64, 229–238.
- [11] De Luis, M. Novak, K. Cufar, K. Raventós, J. 2009. Size mediated climate–growth relationships in *Pinus halepensis* and *Pinus pinea*. *Trees*, 23, 1065–1073.
- [12] Biondi F (1992) Development of a tree-ring network for the Italian Peninsula. *Tree-ring Bull.* 52:15–29.
- [13] Biondi, F. Visani, S 1996. Recent developments in the analysis of an Italian tree-ring network with emphasis on European beech (*Fagus sylvatica* L.). In: Dean JS, Meko DM, Swetnam TW (eds) *Tree Rings, Environment and Humanity, Special Volume. Radiocarbon*, pp 713–725.

- [14] Raddi, S. Cherubini, P. Lauteri, M. Magnani, F. 2009. The impact of sea erosion on coastal *Pinus pinea* stands: A diachronic analysis combining tree-rings and ecological markers. *Forest Ecology and Management* 257, 773–781.
- [15] Francini, E. 1958. Ecologia comparata di *Pinus halepensis* Mill., *Pinus pinaster* Sol. E *Pinus pinea* L. sulla base del comportamento del gametofito femminile. *Annali Accad. Ital. Sci. Forestali.* 7, 107-172.
- [16] Francini Corti, E. 1969. *Pinus pinea* non è una specie mediterranea dal punto di vista epiontologico. *Arch. Bot.* 45, 241-258.
- [17] Kaennel, M. Schweingruber, F.H. 1995. Multilingual Glossary of Dendrochronology. Swiss Federal Institute for Forest, Snow and Landscape Research, WSL/FNP Birmensdorf. Stoccarda. 465 pp.
- [18] Stokes, M. Smiley, T. 1968. An introduction to tree-ring dating. The University of Chicago Press, Chicago. 73 pp
- [19] Aniol, R.W. 1983. Tree-ring analysis using CATRAS. *Dendrochronologia*, 1, 45-53.
- [20] Holmes, R. 1983. Computer-assisted quality control in tree-ring dating and measurement. *Tree-Ring Bull.*, 43, 69-75.
- [21] Cook, E.R. 1985. A Time Series Approach to Tree-Ring Standardization. PhD Dissertation. University of Arizona, Tucson, AZ, USA.
- [22] Wigley, T.M.L. Briffa, K.R. Jones, P.D. 1984. On the average value of correlated time series, with applications in dendroclimatology and hydrometeorology. *J. Clim. Appl. Met.* 23, 201–213.
- [23] Piovesan, G. Biondi, F. Di Filippo, A. Alessandrini, A. Maugeri, M. 2008. Drought-driven growth reduction in old beech (*Fagus sylvatica* L.) forests of the central Apennines, Italy. *Global Change Biology.* 14, 1-17.
- [24] Palmer, W.C., 1965: Meteorological drought. Research Paper 45, U.S. Dept. of Commerce, 58 pp.
- [25] Hurrell, J., 1995: Decadal trend in the North Atlantic Oscillation—Regional temperatures and precipitation. *Science*, 269, 676–679.
- [26] Piovesan, G. and Schirone, B., 2000: Winter North Atlantic Oscillation effects on the tree rings of the Italian beech (*Fagus sylvatica* L.). *International Journal of Biometeorology*, 44, 121–127.
- [27] Mutke, S. Gordo, J. Climent, J. Gil, L. 2003. Shoot growth and phenology modeling of grafted Stone pine (*Pinus pinea* L.) in inner Spain. *Ann. For. Sci.*, 60, 527-537.
- [28] Vieira, J. Campelo, F. Nabais, C. 2009. Age-dependent responses of tree-ring growth and intra-annual density fluctuations of *Pinus pinaster* to Mediterranean climate. *Trees*, 23, 257–265. doi: 10.1007/s00468-008-0273-0.
- [29] Manes, F. Gunther, S. Vitale, M. 1997. Ecophysiological studies of Mediterranean plant species at the Castelporziano Estate. *Atmospheric Environment.*, 31, 51-60.
- [30] Castillo, J.M. Rubio Casal, A.E. Luque, C.J. Luque, T. Figueroa, M.E. 2002. Comparative field summer stress of three tree species in Mediterranean coastal dunes. *Photosynthetica*, 40 (1), 49-56.
- [31] Raventos, J. De Luis, M. Gras, M.J. Cufar, K. Gonzales-Hidalgo, J.C. Bonet, A. Sanchez, J.R. 2001. Growth of *Pinus pinea* and *Pinus halepensis* is affected by dryness, marine spray and land use changes in a Mediterranean ecosystem. *Dendrochronologia*, 19 (2), 211-220.

Monitoreo de variables ambientales utilizando estándar ZigBee

RESUMEN

Las WPAN (Wireless Personal Area Network) son redes que surgen inicialmente de la necesidad básica de interconectar dispositivos de corto alcance de manera inalámbrica y con ello el interés de transmitir datos de la misma forma. Este tipo de redes opera a una distancia relativamente corta, que en promedio no supera los diez metros a la redonda y se rige por el estándar IEEE 802.15.X. Las Redes de Sensores Inalámbricos (WSN) consisten en dispositivos distribuidos de bajo costo y baja potencia, llamados "nodos sensores". El rol de estos nodos es sensor cambios físicos y ambientales tales como la temperatura, humedad y presión y transmitir los datos hacia la estación base, desde la cual podemos acceder a ellos, aún desde Internet en tiempo real.

Las aplicaciones de sensado inalámbrico del mundo real son diversas e imponen un amplio rango de restricciones a las plataformas de sistemas, incluyendo tamaño, costo, disponibilidad de potencia, conectividad wireless, performance, memoria, almacenamiento y flexibilidad. Se presenta un sistema que, bajo estándar ZigBee, utilizando módulos de RF embebidos permite implementar estas redes para el monitoreo de variables ambientales de una manera eficiente.

INTRODUCCION

Las WPAN (Wireless Personal Area Network) son redes que surgen inicialmente de la necesidad básica de interconectar dispositivos de corto alcance de manera inalámbrica y con ello el interés de transmitir datos de la misma forma. Este tipo de redes opera a una distancia relativamente corta, que en promedio no supera los diez metros a la redonda y se rige por el estándar IEEE 802.15.X. A diferencia de redes como las WLAN, las redes WPAN no tienen mayor infraestructura de conexiones hacia el mundo externo, además ejercen un uso eficiente de los recursos utilizados para su funcionamiento.

**Alfredo G. Rivamar (1),
Pedro F. Cerutti (2),
Guillermo J. Castro (1).**

1 Departamento de Capacitación, actualización y Perfeccionamiento Docente, ISFD y T N° T-003 "Normal Superior"

2 Universidad Tecnológica Nacional, Rafaela, Santa Fe.
rivamara@yahoo.com

Por otra parte, las Redes de Sensores Inalámbricos (WSN) consisten en dispositivos distribuidos de bajo costo y baja potencia, llamados "nodos sensores". El rol de estos nodos es sensor cambios físicos y ambientales tales como la temperatura, humedad y presión y transmitir los datos hacia la estación base, desde la cual podemos acceder a ellos.

Es posible monitorear la WSN mediante acceso a Internet y aplicarlos los datos recibidos en tiempo real a modelos que permitan interpretar la información obtenida para mejorar la toma de decisiones respecto del proceso/actividad monitoreada/controlada. Las aplicaciones de sensado inalámbrico del mundo real son diversas e imponen un amplio rango de restricciones a las plataformas de sistemas, incluyendo tamaño, costo, disponibilidad de potencia, conectividad wireless, performance, memoria, almacenamiento y flexibilidad.

Uno de los protocolos utilizados tanto para redes WSN como para redes WPAN es el protocolo IEEE 802.15.4, que implementa las capas inferiores del Modelo OSI / ISO. Sobre estas, aparece el protocolo ZigBee, el cual brinda la capacidad de encaminamiento de los paquetes más allá del alcance de las radios utilizadas, entre otras facilidades adicionales.

Ambos protocolos están orientados a la interconexión de sensores y dispositivos alimentados a baterías, cuya función es monitorear y reportar eventos aislados.

Tanto el protocolo ZigBee como el protocolo IEEE 802.15.4 (sobre el que ZigBee implementa sus características) son soluciones estándar comparables con Bluetooth y IEEE 802.11 (Wi-Fi). Los primeros consumen menos potencia, están orientados a interconexión de sensores y dispositivos alimentados a baterías, cuya función es monitorear y reportar eventos aislados.

En este trabajo se presentan los elementos constitutivos de una red WSN destinada al monitoreo de variables ambientales (temperatura, humedad) utilizando tecnología ZigBee.

DESARROLLO EXPERIMENTAL

Estándar ZigBee

El protocolo ZigBee, es una tecnología inalámbrica diseñada para bajas tasas de envío de datos, usa la banda libre ISM (Industrial, Scientific and Medical) de 2.4GHz, con una velocidad de transferencia máxima de 250kbps, y un alcance aproximado de 30m.

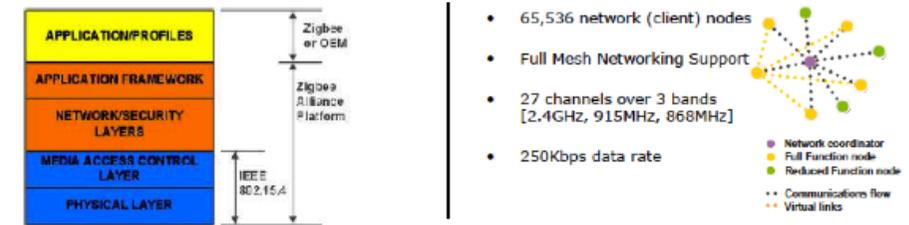
Las topologías de red que soporta el estándar son la estrella y mesh, y cada red puede soportar hasta 65535 nodos distribuidos en subredes de 255 nodos, su consumo de energía es bajo, lo cual maximiza la vida de las pilas.

Las últimas versiones de ZigBee son la 2006, con un alcance de 30 m, y la 2007 (ZB-PRO) con 100 m, capaces de transmitir datos a 250 Kbps en 2,4 GHz.

Figura 1. ¿Qué es ZigBee?

| ¿Qué es ZigBee? | ¿Que hace a ZigBee diferente? | ¿Qué es la arquitectura ZigBee? |
|--|---|---|
| <ul style="list-style-type: none"> •ZigBee Alliance es un consorcio de + 70 compañías. •Es un protocolo estandarizado emergente para redes de Área Personal Inalámbricas de ultra baja potencia (WPANs). | <ul style="list-style-type: none"> •Penetración en diversos mercados. •Bajo costo, baja potencia, networking sofisticado. •Estandarización. •Interoperabilidad. •Enfocado sobre conectividad a bajas tasas de datos y con bajo ciclo de trabajo. | <ul style="list-style-type: none"> •Basado en el estándar IEEE 802.15.4. •Incorpora todas las capas de software incluyendo la capa de Aplicación y debajo las capas NWK, MAC y PHY. |

Figura 2. Características básicas del protocolo ZigBee



ZigBee recurre a seguridad AES 128-bit para encriptación y autenticación.

Para comprender como funciona ZigBee, en primer lugar debemos conocer una tecnología inalámbrica para redes WPAN muy utilizada, la especificación IEEE 802.15.4. Esta especificación es una tecnología de radio muy moderna, robusta y construida sobre 40 años de experiencia del IEEE. ZigBee se vale de O-QPSK (Offset-Quadrature Phase-Shift Keying) y DSSS (Direct Sequence Spread Spectrum), una combinación de técnicas de modulación que proveen excelente performance en ambientes de baja relación señal a ruido.

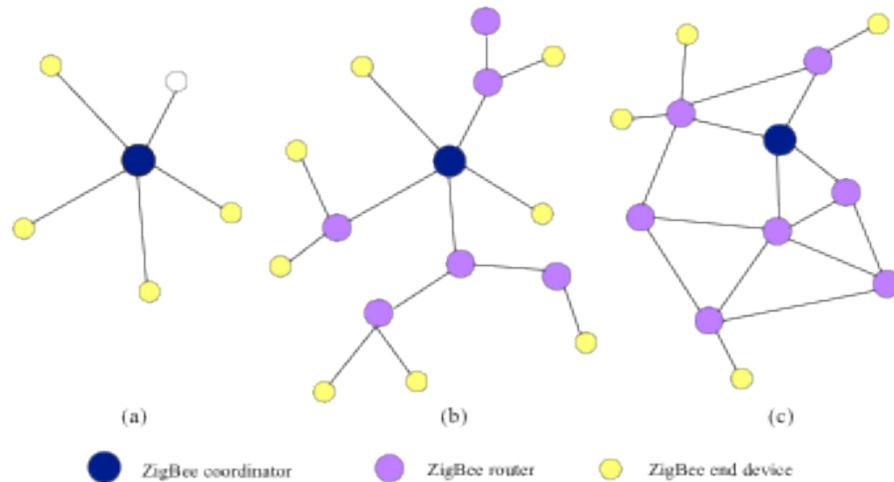
ZigBee utiliza el algoritmo CSMA-CA (Carrier Sense Multiple Access-Collision Avoidance) para incrementar su confiabilidad. Antes de transmitir, ZigBee “escucha” el canal. Cuando el canal está libre, ZigBee comienza a transmitir. Esto previene que las radios transmitan unas sobre otras, originando corrupción en los datos. CSMA-CA es similar a dos personas conversando (o debería serlo!). Una persona espera que la otra persona finalice la conversación, y luego habla.

ZigBee recurre a un código de verificación de redundancia cíclica (cyclic redundancy check, CRC) de 16-bit en cada paquete, llamado Frame Checksum (FCS) para ayudar a verificar la integridad de los datos. Cada paquete es reenviado hasta tres veces (para un total de cuatro transmisiones). Si el paquete no puede ser enviado luego de cuatro intentos, ZigBee informa al nodo emisor de lo ocurrido.

Otra forma en que ZigBee aumenta su confiabilidad es a través de las redes mesh. Estas proveen tres capacidades a una red inalámbrica: extienden el rango por medio de saltos múltiples, permiten una configuración “ad-hoc” de la red y lo más importante, el descubrimiento automático de la ruta y auto reparación.

En la Figura 3 se observan diferentes topologías de una red ZigBee y los dispositivos que la conforman.

Figura 3. El modelo de red de ZigBee.



Los dispositivos empleados son tres: “End devices” (ED), “Coordinador” (único para una red ZB) y “Routers” (solamente presentes en redes ZB):

- End Devices: admiten dos modos de funcionamiento, “Full Function (FF) / Reduce Function (RF)”. Toma sus instrucciones desde el coordinador. Si está fuera de rango, encaminamiento de los mensajes utilizando los routers de la red. Los ED se sitúan en estrella alrededor de un router o de un coordinador.
- Coordinador: dispositivo FF, gestiona la red. Único para cada red. Capacidad de ruteo.
- Routers: encargados de encaminar los paquetes hacia el destino final. La topología de red mesh se utiliza debido a que los routers y el coordinador tienen opciones de múltiples caminos de comunicación, más allá del alcance RF del coordinador de la red.

La capa de red proporciona transmisiones seguras y realizables entre dispositivos. ZigBee soporta tres clases de redes (topologías): estrella, árbol y mesh. Ilya Bagrak, de la empresa MeshNetics mantiene que “entre los numerosos beneficios de ZigBee están el protocolo mesh para enrutado multi-salto y la entrega de datos, una especi-

ficación de seguridad y un conjunto de provisiones para asegurar la interoperabilidad a nivel de aplicación. En términos generales, ZigBee proporciona a los desarrolladores de aplicaciones embebidas una abstracción de mayor nivel para la gestión de redes y la interconexión con otros nodos”.

Entre las soluciones estándar comparables con IEEE 802.15.4 y ZigBee, tenemos a Bluetooth y Wi-Fi. Específicamente cada una de ellas está orientada a un mercado en particular, Figura 4.

Figura 4. Comparativa entre soluciones estándar

| ZigBee (WPAN) | Bluetooth (WLAN/WPAN) | Wi-Fi (WLAN) |
|---|---------------------------------------|--|
| •Estándar 802.15.4 | •Estándar 802.15.1 | •Estándar 802.11 |
| •250 kbps. | •1 Mbps. | •+ de 54 Mbps. |
| •TX: 35 mA. | •TX: 40 mA. | •TX: + 400 mA. |
| •Standby: 3 uA. | •Standby: 200 uA. | •Standby: 20 mA. |
| •Memoria: 32-60 KB | •Memoria: + 100 KB. | •Memoria: + 100 KB. |
| •Iluminación, sensores, periféricos PC. | •Telecom. audio, reemplazo de cables. | •Empresas, puntos de acceso hogareños. |
| •Mesh networking. | •Punto a multipunto. | •Punto a multipunto. |
| •2.4 GHz. | •2.4 GHz. | •2.4 GHz. |

REDES WSN

La tendencia actual es el uso de comunicaciones inalámbricas donde la alimentación de los equipos es realizada sin cables. Las características comunes a este tipo de comunicación son las siguientes:

- La alimentación se realiza mediante dispositivos de almacenamiento.
- La red es autoconfigurable.
- El mantenimiento requerido es mínimo.

Las redes de sensores inalámbricas son una aplicación importante para ZigBee y otras tecnologías inalámbricas de corto alcance, debido a que estas redes son ideales para este tipo de comunicación.

Una red de sensores inalámbrica consta de numerosos y económicos sensores inalámbricos capaces de recoger, almacenar y tratar la información del medio ambiente. Esta red permite la comunicación con sus nodos vecinos e incluye aplicaciones de monitoreo.

Con estas redes se realiza el monitoreo de un gran número de condiciones físicas como la temperatura, humedad y presión, las cuales son aplicadas en diversas áreas. Especialmente donde las redes de sensores convencionales son inadecuadas o no están disponibles, como son los terrenos inhóspitos, campos de batalla, en el espacio y en el océano.

Comparado al uso de pocos sensores caros pero altamente efectivos, la estrategia de colocar un gran número de sensores económicos tiene avances significativos.

Debido a que son pequeños permiten obtener un menor costo total del sistema, son robustos ante fallas en condiciones de operación distribuida, tienen una muy alta resolución espacial, cobertura uniforme y consumo reducido de energía, todo esto permite que el tiempo de vida del sistema se incremente.

Estas redes se han desarrollado rápidamente y son utilizadas en muchas aplicaciones del sector industrial, doméstico y educacional. Constan de dispositivos de procesamiento y comunicación pequeños y de bajo costo, los cuales son llamados nodos de sensores y son elegidos en función de la potencia que consume, la capacidad de almacenamiento y el poder de procesamiento.

En la Tabla 1 se muestra la clasificación de las redes de sensores inalámbricas, en función a las principales características como la dependencia de datos, la distribución de los nodos y el esquema de control.

Tabla 1. Clasificación de las redes de sensores inalámbricas (WSN)

| Factor | Tipo 1 | Tipo 2 |
|---|--|---|
| Distancia a la estación base o al centro de monitoreo | Salto Simple: transmiten directamente a la estación base. | Salto Múltiple: algunos nodos transmiten a la estación vía nodos intermedios. |
| Dependencia de datos | Agregación: ejecuta funciones para realizar ciertas acciones como eliminar la redundancia. | No agregación: los datos son enviados como son. |
| Distribución de sensores | Determinística: la distribución de los sensores es fija o planeada. | Dinámica: en muchos casos la posición de los sensores no está definida, por lo cual son colocados en distribuciones diversas. |
| Esquema de control | No autoconfigurable: no son capaces de organizarse por ellos mismos | Autoconfigurable: permite autoconfigurarse cuando un nodo falla, consume más energía. |
| Dominio de aplicación | Variado | Variado |

Entre los rasgos característicos se tiene la capacidad de organizarse por sí mismos, poseen pequeño rango de comunicación por difusión y ruteo multisalto, permiten una distribución densa y un esfuerzo cooperativo entre los nodos de sensores. Las redes cambian de topología rápidamente ante problemas de desvanecimiento y fallas de los nodos, son limitados en energía, poder de transmisión, memoria y capacidad de procesamiento.

La adición de actuadores abre una nueva dimensión que permitirá la administración y manipulación de los dispositivos, ofreciendo grandes oportunidades para muchas aplicaciones.

RESULTADOS

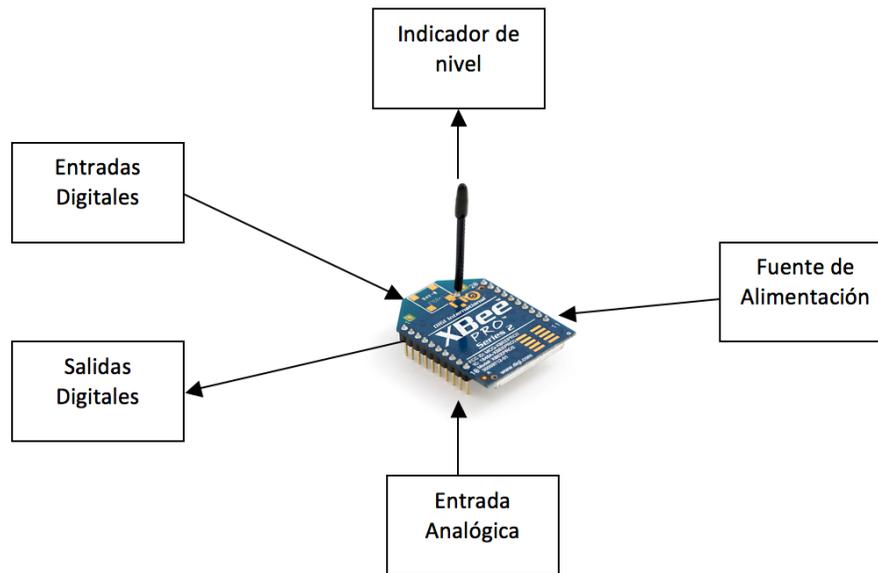
El esquema utilizado emplea dos módulos independientes:

- Módulo Router / End Device (Sensor)
- Módulo USB

Módulo Router / ED (sensor)

El diagrama en bloques se observa en la Figura 5.

Figura 5. Diagrama en bloques módulo sensor



De forma funcional, las características con las que cuenta el sistema para sensores inalámbricos son:

- Cuatro entradas o salidas digitales con nivel TTL.
- Una entrada analógica en el rango de 0 a 5V.
- Una salida analógica en el rango de 0 a 3.3V.
- Puerto USB opcional para la conexión de este sistema hacia la computadora.
- Alimentación con dos pilas tipo AA.
- Indicador visual del nivel de RF en la recepción.

Las entradas y salidas digitales sirven para interconectar sensores con salidas a transistor. Las entradas analógicas se utilizan para interconectar sensores con salida de voltaje. La alimentación de esos sensores no será proporcionada por este sistema. El sistema se desarrolla en torno al módulo XBee Serie 2 de Digi.

Un resumen de sus principales características se observa en la Tabla 2.

Tabla 2. Especificaciones módulos XBee, y XBee-PRO, Serie 2

| Especificación | Módulo XBee ZB | Módulo XBeeZB-PRO |
|------------------------------|--|-------------------------------|
| Potencia salida | 1,25 mW (+1 dBm) ¹⁷ | 10 mW (+10 dBm) ¹⁸ |
| Sensibilidad receptor | - 95 dBm ¹⁹ | - 102 dBm |
| Canales | 11 - 26 | 11 - 24 |
| Outdoor RF LOS ²⁰ | 120 m | +1500 m |
| Indoor RF LOS | 40 m | 60 m |
| Corriente operación Rx | 40 mA | 45 mA |
| Corriente operación Tx | 40 mA | 295 mA |
| Modo bajo consumo | <10 uA | <10 uA |
| Tensión de operación | 2,1 V a 3,6 V | 3,0 V a 3,4 V |
| Rango Temperatura | - 40 °C a + 85 °C | - 40 °C a + 85 °C |
| Métodos de configuración | Comandos AT o API, local o sobre el aire | |

Los sensores utilizados han sido:

- Temperatura LM35DZ: sensor de temperatura analógico centígrado de precisión. La salida es de 10 mV por cada grado centígrado por encima de 0°C. Por ejemplo, una salida de 205 mV equivale a 20,5 °C. Opera en un amplio rango de temperaturas, -55 °C a +150 °C. Figura 6 y Figura 7.

Figura 6. Distribución de pines. LM35DZ

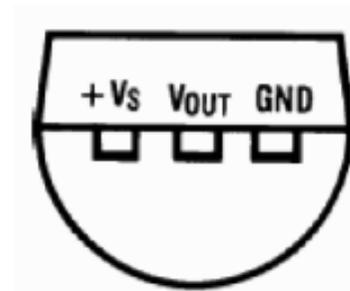
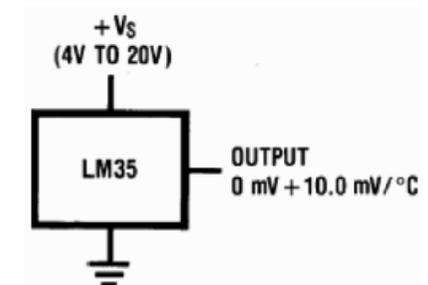


Figura 7. Configuración típica del LM35DZ



- Temperatura y Humedad relativa SHT15: sensor de alta calidad. El sensor de humedad capacitivo está calibrado totalmente y proporciona salida digital. Opera entre 0% y 100 % de humedad relativa y entre -40 °C y +125 °C, Figura 8 y Figura 9.

Figura 8. Característica de humedad relativa. SHT115

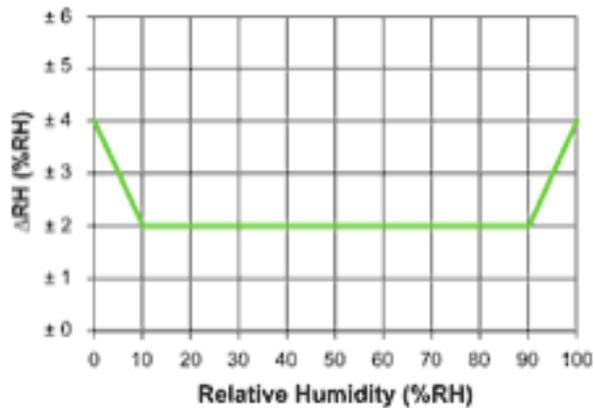
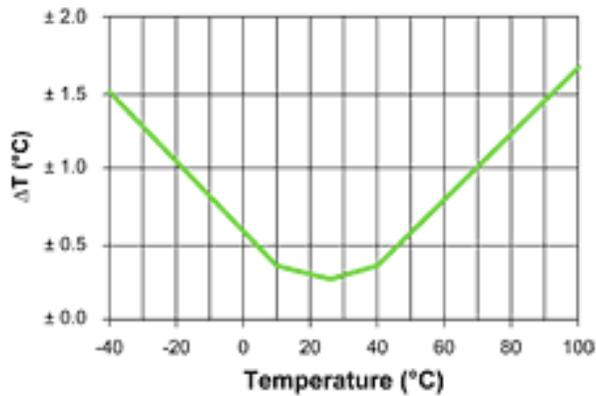


Figura 9. Característica de temperatura. SHT115



- Módulo XBee Serie 2:

Figura 9. Asignación de pines en módulos ZB XBee / XBee PRO

| Pin # | Name | Direction | Default State | Description |
|-------|-----------------------------------|-----------|-----------------------------|--|
| 1 | VCC | - | - | Power supply |
| 2 | DOUT | Output | Output | UART Data Out |
| 3 | DIN / CONFIG | Input | Input | UART Data In |
| 4 | DIO12 | Both | Disabled | Digital I/O 12 |
| 5 | RESET | Both | Open-Collector with pull-up | Module Reset (reset pulse must be at least 200 ns) |
| 6 | RSSI PWM / DIO10 | Both | Output | RX Signal Strength Indicator / Digital IO |
| 7 | DIO11 | Both | Input | Digital I/O 11 |
| 8 | [reserved] | - | Disabled | Do not connect |
| 9 | DTR / SLEEP_RQ / DIO8 | Both | Input | Pin Sleep Control Line or Digital IO 8 |
| 10 | GND | - | - | Ground |
| 11 | DIO4 | Both | Disabled | Digital I/O 4 |
| 12 | CTS / DIO7 | Both | Output | Clear-to-Send Flow Control or Digital I/O 7. CTS, if enabled, is an output. |
| 13 | ON / SLEEP | Output | Output | Module Status Indicator or Digital I/O 9 |
| 14 | VREF | Input | - | Not used for EM250. Used for programmable secondary processor. For compatibility with other XBEE modules, we recommend connecting this pin voltage reference if Analog sampling is desired. Otherwise, connect to GND. |
| 15 | Associate / DIO5 | Both | Output | Associated Indicator, Digital I/O 5 |
| 16 | RTS / DIO6 | Both | Input | Request-to-Send Flow Control, Digital I/O 6. RTS, if enabled, is an input. |
| 17 | AD3 / DIO3 | Both | Disabled | Analog Input 3 or Digital I/O 3 |
| 18 | AD2 / DIO2 | Both | Disabled | Analog Input 2 or Digital I/O 2 |
| 19 | AD1 / DIO1 | Both | Disabled | Analog Input 1 or Digital I/O 1 |
| 20 | AD0 / DIO0 / Commissioning Button | Both | Disabled | Analog Input 0, Digital IO 0, or Commissioning Button |

Figura 10. Diagrama en bloques de los módulos ZB XBee / XBee PRO

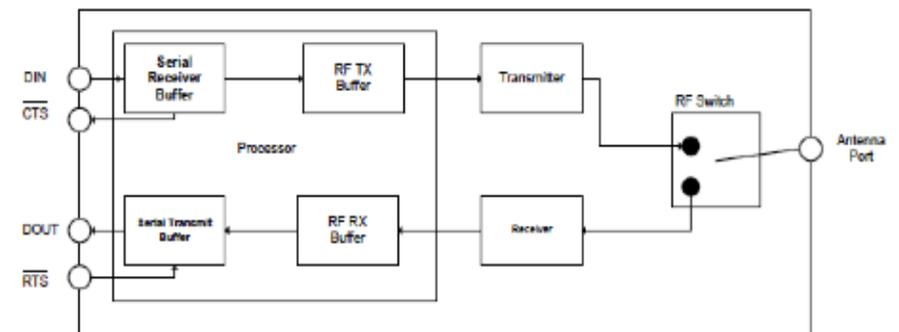
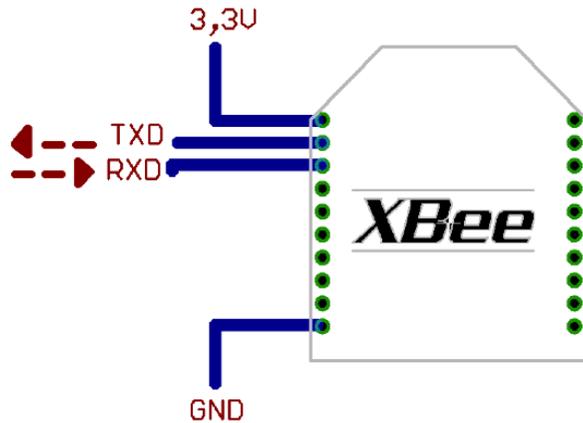


Figura 11. Conexión mínima de los módulos ZB XBee / XBee PRO



Módulo USB

Cuando se conecta el módulo XBee a una computadora personal a través del puerto USB se requiere de este módulo. Para cumplir con estos requerimientos un sistema que consta de tres módulos, el módulo XBee Serie 2, el convertidor de USB a serial y el indicador (led). El módulo XBee es el mismo descrito anteriormente, por lo que en este apartado solo se describirá el bloque del convertidor de USB a serial.

Para convertir de nivel USB a TTL, y manejar todas las opciones del puerto USB, en el mercado existen varios dispositivos que permiten realizar esto en un solo circuito integrado. Se utilizó el circuito integrado FT232BL, chip de segunda generación de la empresa FTDI (Future Technology Devices Internacional), Figura 12.

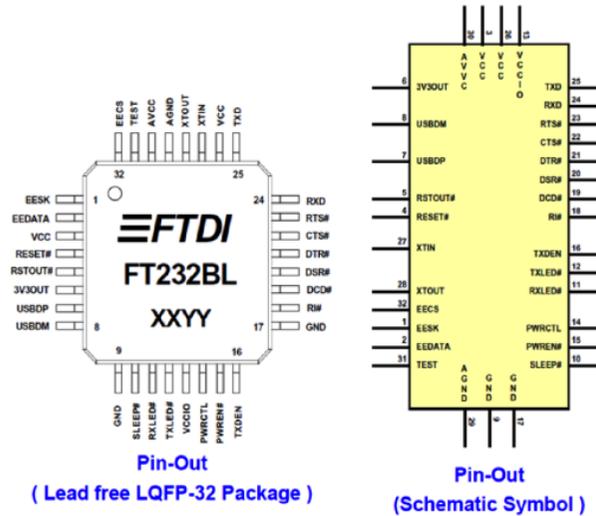
El circuito integrado FT232BL tiene 32 terminales y convierte los niveles USB a formato serial, se alimenta con 5V. Las salidas seriales que genera pueden ser TTL ó 3.3V, esto se logra alimentando una de sus terminales con el voltaje de salida que se desea, 5V para niveles TTL, ó 3.3V para salidas con este nivel. Como el dispositivo XBee Serie 2 funciona con 3.3V, se utilizó este voltaje para alimentar al convertidor USB a TTL.

Kit de evaluación ZB Cika

Este kit, Figura 13, permite realizar una rápida evaluación de los módulos XBee ZB. Los componentes del mismo son los siguientes:

- Tres placas XBoard conteniendo cada una un módulo XBee ZB con antena integrada o whip.
- Una placa USB2UART que permite obtener un puerto serie a partir de uno USB, alimentándose de éste. Se basa en el chip FT232B de FTDI.
- Un CD conteniendo software y documentación.

Figura 12. Distribución de pines y símbolo esquemático..FT232BL



Empleando el software X-CTU de Digi es posible configurar los módulos y con una aplicación que permita observar el modo de funcionamiento API es posible observar la configuración de la red, así como los parámetros de cada módulo, por ejemplo, la temperatura. En la Figura 14, una red conformada por el coordinador, un router y un end-device.

Figura 13. Zkit Cika Electrónica

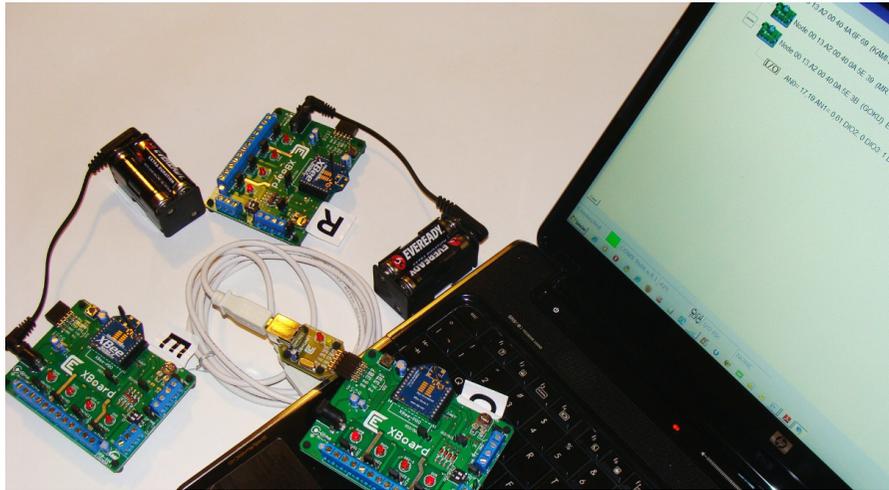
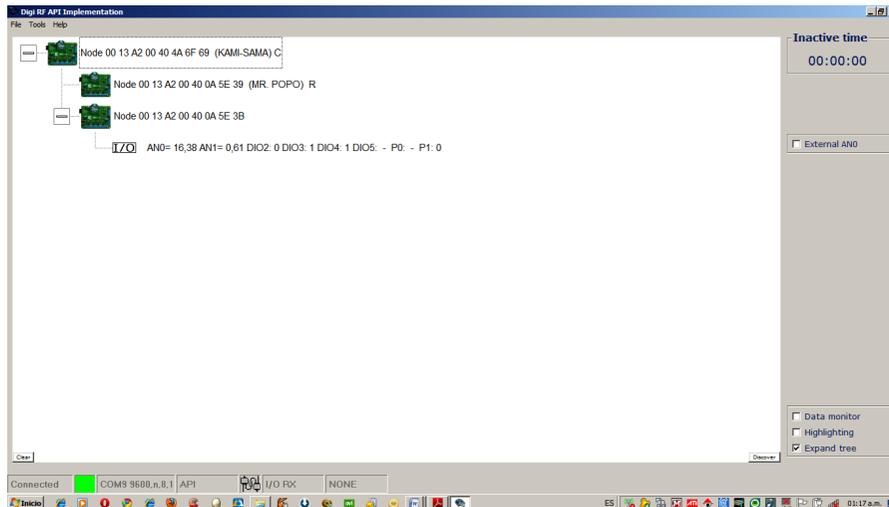


Figura 14. Red ZigBee



DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

1. Se presenta un sistema que puede emplearse exitosamente para monitorear variables ambientales, que permite el acceso en tiempo real y de manera inalámbrica.
2. Los resultados obtenidos durante las pruebas permitieron obtener una adecuada potencia de recepción y una tasa de error de paquetes < 1%, lo que permite garantizar la calidad del enlace y la fiabilidad de las transmisiones de datos entre los diferentes nodos de la red.
3. El estándar ZigBee se comporta de manera confiable y segura.
4. El estándar ZigBee en general y en los módulos XBee Serie 2 en particular tienen todo el potencial de satisfacer todos los requerimientos en redes WSN empleadas para el monitoreo de variables ambientales.
5. Es fundamental una adecuada ubicación del nodo Coordinador para asegurar las condiciones de comunicaciones.
6. La combinación del costo reducido de hardware, muy buen desempeño inalámbrico y el estándar mundial que lo soporta, hacen de ZigBee una opción muy competitiva para configurar y operar redes WSN.

Influencia de la Variabilidad Climática en la Estacionalidad del Consumo de Gas Natural del Sector Eléctrico

C .E. Rössler (1),
D. R. Gómez (1,2),
F. C. Rey (3).

1 Instituto de Investigación e Ingeniería Ambiental, U.N. de General San Martín

2 Grupo de Monitoreo Ambiental Comisión Nacional de Energía Atómica

3 Comisión Nacional de Energía Atómica

cristina.rossler@unsam.edu.ar

RESUMEN

En este trabajo se analiza la influencia del clima en el consumo de gas en el sector eléctrico en Argentina. Utilizando las series de datos mensuales de variables meteorológicas se ha caracterizado el comportamiento de la demanda mensual de gas mediante el análisis de sus perfiles estacionales. Los resultados se comparan con un análisis paralelo de la demanda mensual de electricidad estableciendo cual es el impacto del clima en ambas variables energéticas. Se describe, además, la influencia de las variaciones climáticas sobre el sistema energético, a partir de la dependencia de la generación hidroeléctrica frente al caudal de los ríos y su consecuencia en la variación de la demanda de gas para generación eléctrica y la dependencia de la demanda de gas natural, y de electricidad, con relación a las variaciones de la temperatura. Los resultados muestran que la temperatura tiene una influencia relevante en el consumo mensual de gas del sector eléctrico.

INTRODUCCIÓN

Desde la reforma del sector eléctrico en la década de los 90, la generación de electricidad tiene lugar en un mercado mayormente liberalizado. Se optó por los ciclos combinados para la rápida recuperación del capital invertido [1]. Las centrales termoeléctricas se convirtieron en uno de los mayores consumidores de gas natural, estableciendo una gran interdependencia entre los sistemas eléctrico y de gas. El consumo de gas por parte de este tipo de centrales afecta significativamente el consumo total de gas natural del país. Por otro lado, existen limitaciones del sistema de gas natural que imponen restricciones a las centrales térmicas afectando así el despacho del sistema eléctrico. Podemos afirmar que hay un balance entre ambos mercados en condiciones normales, cuando no sufren racionamiento ni el gas natural ni la electricidad.

El conocimiento de los efectos del clima en el balance de este sistema interrelacionado es fundamental en la gestión del sistema eléctrico argentino. Las temperaturas son un poderoso factor controlador del consumo de energía, (sea este de electricidad como de gas), ya que determinan la demanda diaria que, en caso de picos de frío o de calor, se incrementa a causa de la calefacción o refrigeración. La oferta de electricidad en el país se divide energía hidroeléctrica, nuclear y térmica. Esta última es predominantemente a gas natural, el que presenta restricciones a su disponibilidad principalmente en los meses de invierno al tener prioridad el abastecimiento a los sectores residenciales. En estas condiciones, que dependen de la temperatura y del grado de firmeza de la oferta de gas, se observa que el gas es la variable crítica para el funcionamiento del Sistema eléctrico argentino.

La falta de gas natural a los generadores eléctricos provoca que estos deban sustituirlo con combustibles líquidos con varias consecuencias negativas. La primera es el mayor costo y menor calidad de estos combustibles lo que provoca un encarecimiento de la energía producida, mayores problemas ambientales y de mantenimiento de los equipos. La segunda es que hay equipamientos que no están preparados para utilizar combustibles líquidos y esto sumado a los mayores deterioros que les produce a los que si están preparados, se puede observar una mayor indisponibilidad del equipamiento térmico. Toda esta situación se ve agravada en los años de baja hidraulicidad debido al mayor requerimiento de las maquinas térmicas.

Varios son los trabajos que relacionan el consumo residencial de gas con las variables climáticas [2] [3]. En este trabajo se evalúa la influencia del clima en el consumo de gas natural del sector eléctrico en Argentina.

A partir de series de datos de temperatura, se ha caracterizado el comportamiento del consumo mensual de gas para generación termoeléctrica mediante el análisis de sus perfiles estacionales. Los resultados se comparan con un análisis paralelo de la demanda mensual de electricidad estableciendo cual es el impacto del clima en ambas variables energéticas. Se describe, además, la influencia de las variaciones climáticas sobre el sistema energético, a partir de la dependencia de la generación hidroeléctrica frente al caudal de los ríos y su consecuencia en la variación del consumo de gas para generación eléctrica y la dependencia de la demanda de electricidad y consumo de gas, con relación a las variaciones de la temperatura.

METODOLOGÍA Y DATOS

En la primera parte del trabajo se hace una descripción de las series de datos mensuales disponibles de consumo de gas para generación térmica y de demanda de electricidad. Se analiza la evolución temporal de las variables energéticas en el período 2000-2010 y se realiza un primer análisis con respecto a la tendencia de los consumos y de su estacionalidad. Luego se analiza la relación entre las variables energéticas y las temperaturas. A través del análisis de las series temporales se ha caracterizado el comportamiento del consumo mensual de gas mediante el análisis de sus perfiles estacionales. Se hace una comparación entre las temperaturas y la oferta de gas a las centrales termoeléctricas en el Gran Buenos Aires (GBA) a través de un análisis de regresión. Se describe, además, la influencia de las variaciones climáticas sobre el sistema energético, a partir de la dependencia de la generación hidroeléctrica y los períodos de sequías e inundaciones y su consecuencia en la variación de la demanda de gas para generación eléctrica y la dependencia de la demanda de gas natural, y de electricidad, con relación a las variaciones de la temperatura. Los resultados se comparan con un análisis paralelo de la demanda mensual de electricidad estableciendo cual es el impacto del clima en ambas variables energéticas. Finalmente, se recogen las conclusiones más relevantes.

Descripción de los datos

Las series disponibles de variables energéticas representan el consumo mensual y anual de gas para generación termoeléctrica y de electricidad en Argentina del período 2000-2010 [4]. Se analizan también datos mensuales de consumo de gas del sector eléctrico desagregados regionalmente del Gran Buenos Aires (GBA). Los datos de gas vienen expresados en dam^3 , y los de electricidad en gigawat hora (GWh). Se debe aclarar que en los períodos invernales el consumo de gas se corresponde con la dispo-

nibilidad de este fluido, mientras que en los períodos de mayores temperaturas es una variable independiente, debido a que la disponibilidad es mayor que la demanda.

Con respecto a las variables meteorológicas, se analizaron series de datos diarios de temperatura media, y temperatura máxima y mínima de la estación meteorológica Buenos Aires, proporcionados por el Servicio Meteorológico Nacional, correspondientes al mismo período y se construyeron las series mensuales de las variables temperatura media, máxima y mínima. Los datos de precipitación se analizaron en series mensuales y anuales.

Tendencia de las series

Las series de consumo de gas y electricidad muestran una importante tendencia en alza relacionada con el crecimiento demográfico y económico de la Argentina y en el caso del gas además por los períodos de mayor o menor hidraulicidad. Dado que el objetivo de este trabajo es analizar el patrón de consumo relacionado con las variaciones climáticas, es necesario separar estos efectos de aquellos de otro origen. Para corregir las series de consumo de gas y de electricidad del efecto de la tendencia se utiliza un factor de corrección f_i [5]:

$$f_i = \frac{\bar{E}_i}{\bar{E}}$$

Donde E_i es el consumo mensual medio de electricidad del año i y E es el consumo mensual medio de electricidad de toda la serie:

$$\bar{E}_i = \frac{\sum_{j=1}^{n_i} E_{ij}}{n_i} \quad \text{y} \quad \bar{E} = \frac{\sum_{i=1}^{\text{año}} \sum_{j=1}^{n_i} E_{ij}}{\sum_{i=1}^{\text{año}} n_i}$$

El consumo corregido de tendencia E_{cij} es:

$$E_{cij} = \frac{E_{ij}}{f_i}$$

Siendo E_{cij} el consumo corregido en el mes j del año i y E_{ij} el consumo original para el mismo mes. La definición de este factor para los datos de consumo de gas es similar.

Estacionalidad del consumo

Sobre estas tendencias aparece un perfil anual estacional que es distinto y característico de cada uno de los dos patrones de consumo. Para analizar este comportamiento se calcularon los índices de variación estacional mensuales (IVEM) definidos por [6] [7]:

$$IVEM_{ij} = \frac{X_{ij}}{X_j}$$

El índice se expresa en términos unitarios permitiendo, de esta manera, separar los valores situados por encima o debajo de la unidad como los consumos superiores o inferiores al consumo mensual medio del año en toda la serie.

Con el fin de caracterizar el comportamiento de las temperaturas, se calcularon sus índices de estacionalidad, IVEM, con el mismo método.

Grados mes

Para analizar la intensidad de los inviernos y veranos se han separado las series de temperaturas en datos de meses fríos y meses cálidos [8].

Por debajo de un cierto umbral, que podría situarse alrededor de los 18°C [9] el consumo eléctrico aumenta con la disminución de la temperatura (relación inversa), mientras que por encima del umbral el comportamiento es el contrario (relación directa). Esto se debe al uso dual de la energía eléctrica, que se utiliza tanto con fines de calefacción en invierno, como para aire acondicionado en verano. Dado que en este trabajo contamos con las series mensuales de consumo de electricidad, los grados día se acumulan durante los días de cada mes, definiendo las variables grados-mes calor (GMC) y grados-mes frío (GMF):

$$GMC = \sum GDC = \max(18 - T; 0) \quad GMF = \sum GDF = \max(T - 18; 0)$$

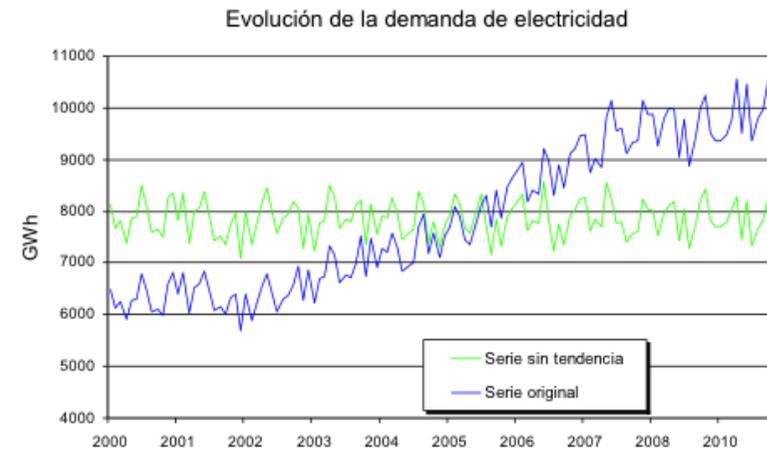
Donde T es la temperatura media diaria

RESULTADOS

Demanda de electricidad y consumo de gas del sector eléctrico

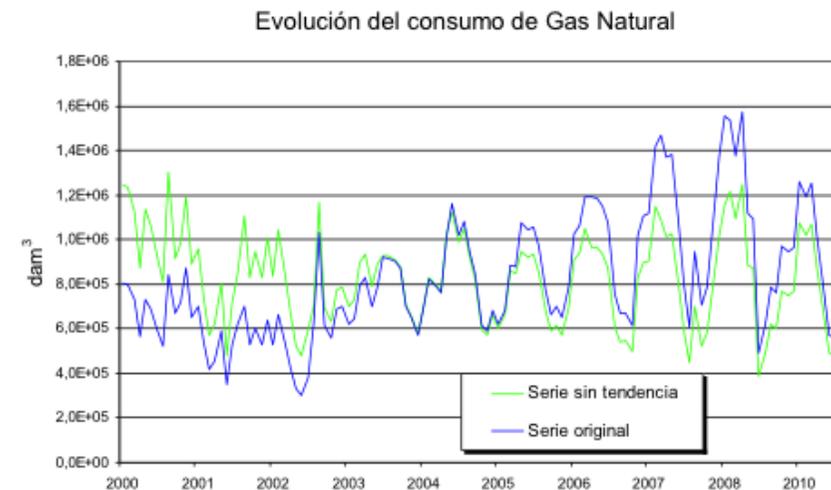
En el análisis de la evolución del consumo de gas para generación termoeléctrica y de electricidad (Figura 1), la primera característica que se observa es la pronunciada tendencia creciente presentada en esta serie.

Figura 1: Evolución de la demanda de electricidad (GWh) 2000-2010. Datos de CAMMESA.



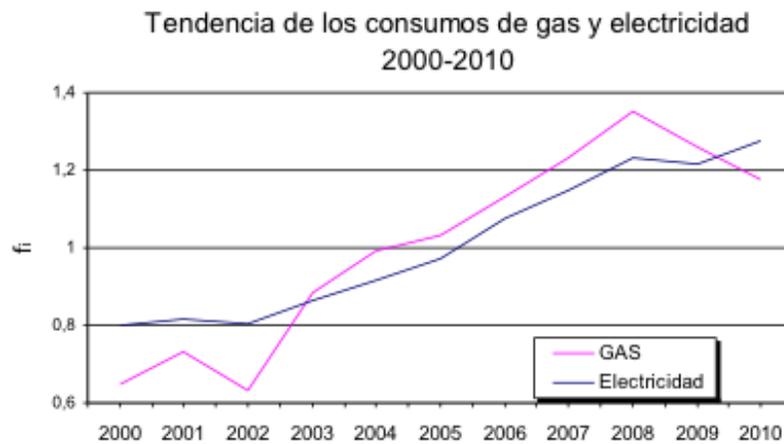
La figura 2 se muestra la evolución del consumo de gas del sector eléctrico del período (2000-2003). Podemos observar que esta serie además de presentar una tendencia creciente muestra una estacionalidad más clara que en el caso de la demanda de electricidad, estacionalidad debida a la menor disponibilidad de este fluido en los periodos invernales.

Figura 2: Evolución del consumo de gas del sector eléctrico (dam³) 2000-2010.



La figura 3 se muestra la evolución de los factores de corrección de la tendencia, donde se pueden ver los periodos de estancamiento (2000-2003) y de mayor crecimiento (2003-2008), que coinciden con la evolución de la economía y los periodos de alta y baja hidráulica, 2002 y 2008 respectivamente.

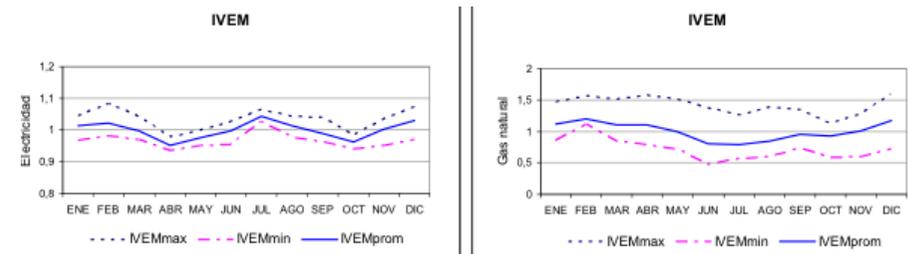
Figura 3: Tendencia de los consumos de gas del sector eléctrico y de electricidad



Superpuesta a estas tendencias se puede ver un perfil anual estacional diferente y característico de cada uno de los dos modelos de consumo. Este comportamiento puede analizarse calculando los índices de variación estacional mensuales (IVEM) que se muestran en figura 4. Se distingue entre IVEM máximo, el mínimo y el medio expresados en términos unitarios. Los meses con valores situados por encima (debajo) de la unidad indican consumos superiores (inferiores) al consumo mensual medio del año en toda la serie.

El consumo de demanda de electricidad muestra una marcada estacionalidad, con dos máximos destacados de consumo en invierno y en verano. Este comportamiento es debido al uso dual de la energía eléctrica con fines de calefacción en los meses fríos y de refrigeración en los meses cálidos. El consumo de gas presenta valores más elevados en el verano, con un descenso marcado hacia el mes de junio (derivado de la menor disponibilidad) y alta variabilidad (la diferencia entre los IVEM de enero y junio es de 0,4) con un alto rango de variación estacional (en el mes de junio la diferencia entre IVEM máximo y mínimo es de 0,9).

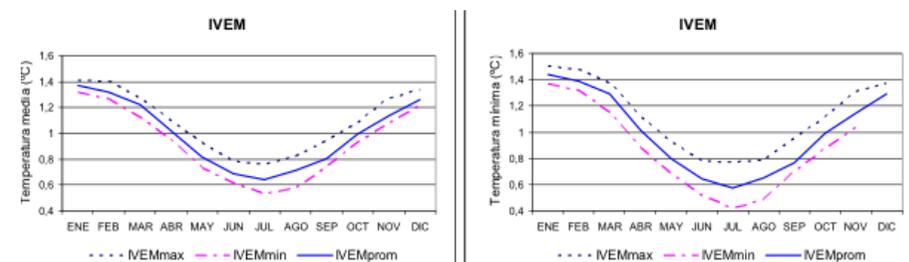
Figura 4: Variación estacional de demanda de electricidad (a) y de consumo de gas del sector eléctrico (b) para el periodo 2000-2010.



Variabilidad de la temperatura

Con el fin de caracterizar el comportamiento de las temperaturas, se han calculado sus IVEM, cuyos valores medio, máximo y mínimo se presentan en la figura 5. Se observa que la temperatura tiene una estacionalidad marcada, con un máximo en verano y valores mínimos en invierno, presentando su rango de variación estacional una gran uniformidad, lo cual demuestra la estabilidad de esta variable a lo largo del periodo analizado. La temperatura máxima tiene un comportamiento estacional similar (no mostrado) Se observa que la temperatura mínima muestra un mayor rango de variación estacional especialmente en invierno.

Figura 5: Variación estacional de las temperaturas media y mínima para el periodo 2000-2010.



Grados mes

En la tabla I se presenta la distribución de valores de los grados-mes calor y frío en la serie analizada.

Tabla I: Distribución mensual de los grados mes período 2000-2010.

| GRADOS MES CALOR | | | | | | | | | | | | | |
|------------------|-----|-----|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|------|------|--------|
| AÑO | ENE | FEB | MAR | ABR | MAY | JUN | JUL | AGO | SEP | OCT | NOV | DIC | ANUAL |
| 2000 | 0 | 0 | 8,4 | 9,2 | 108,0 | 148,5 | 266,5 | 171,7 | 118,3 | 43,2 | 14,8 | 3,5 | 887,0 |
| 2001 | 0 | 0 | 0 | 32,5 | 125,8 | 153,1 | 198,5 | 97,9 | 106,7 | 31,4 | 10,4 | 6,9 | 762,9 |
| 2002 | 0 | 0 | 3,15 | 49,8 | 58,0 | 201,4 | 204,4 | 148,1 | 109,4 | 25,2 | 14,7 | 0 | 814,0 |
| 2003 | 0 | 3,1 | 8,5 | 29,35 | 87,7 | 153,8 | 214,5 | 196,3 | 123,8 | 34,4 | 17,6 | 3,25 | 870,0 |
| 2004 | 0 | 0 | 0 | 25,1 | 148,5 | 167,5 | 196,0 | 148,3 | 91,4 | 45,0 | 23,3 | 0,35 | 835,4 |
| 2005 | 2,4 | 3,1 | 5,3 | 59,2 | 106,1 | 131,0 | 185,5 | 188,2 | 134,9 | 73,4 | 9,4 | 1,0 | 881,3 |
| 2006 | 0 | 0 | 4,2 | 25,1 | 164,7 | 214,1 | 142,4 | 174,7 | 98,5 | 14,0 | 9,0 | 0 | 846,5 |
| 2007 | 0,1 | 0 | 0 | 27,05 | 165,9 | 216,2 | 263,0 | 244,7 | 89,2 | 28,0 | 36,2 | 0,55 | 1948,7 |
| 2008 | 0 | 0 | 0 | 40,5 | 97,0 | 190,3 | 128,3 | 184,6 | 122,1 | 33,2 | 3,4 | 1,5 | 780,7 |
| 2009 | 0 | 0 | 0 | 10,25 | 79,2 | 196,3 | 229,0 | 122,9 | 137,4 | 48,2 | 2,3 | 3,7 | 829,0 |
| 2010 | 0 | 0,9 | 2,0 | 37,5 | 62,4 | 147,7 | | | | | | | |

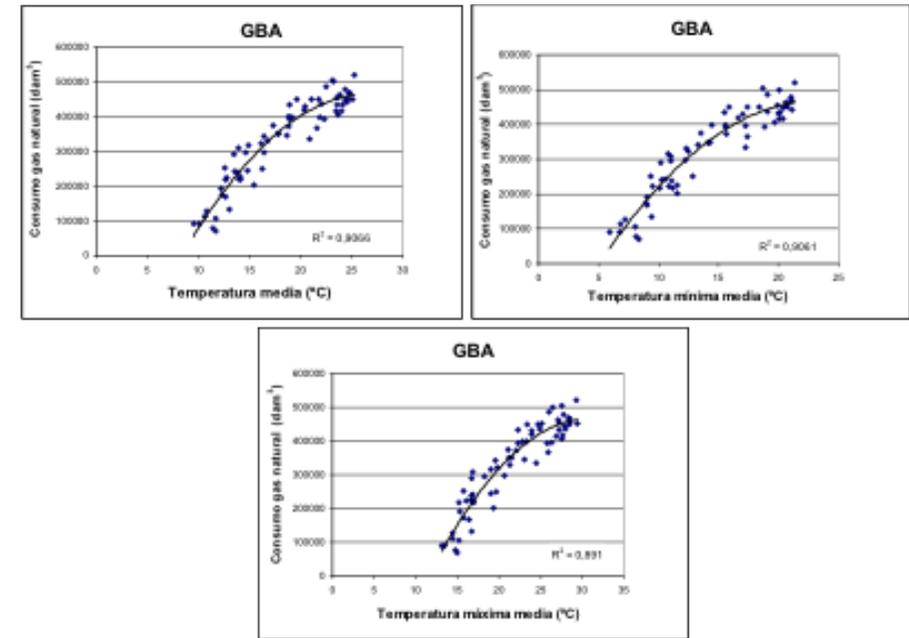
| GRADOS MES FRIO | | | | | | | | | | | | | |
|-----------------|-------|-------|-------|------|------|-----|-----|------|------|------|-------|-------|-------|
| AÑO | ENE | FEB | MAR | ABR | MAY | JUN | JUL | AGO | SEP | OCT | NOV | DIC | ANUAL |
| 2000 | 216,3 | 177,1 | 116,4 | 34,1 | 0,4 | 0 | 0 | 0 | 3,1 | 27,8 | 55,4 | 157,4 | 786,8 |
| 2001 | 222,0 | 199,7 | 156,8 | 48,6 | 3,8 | 5,4 | 0 | 7,1 | 6,4 | 24,4 | 62,0 | 141,2 | 877,0 |
| 2002 | 194,7 | 134,7 | 125,7 | 32,1 | 17,2 | 0 | 0 | 17,8 | 2,8 | 53,0 | 101,5 | 138,2 | 817,5 |
| 2003 | 213,1 | 151,3 | 135,0 | 16,7 | 2,7 | 0 | 0 | 0 | 1,7 | 45,9 | 70,7 | 115,5 | 752,3 |
| 2004 | 202,7 | 137,8 | 152,8 | 75,5 | 0 | 0,8 | 0 | 1,8 | 10,2 | 18,0 | 84,3 | 152,8 | 813,9 |
| 2005 | 222,8 | 167,2 | 100,2 | 23,4 | 4,3 | 8,2 | 5,4 | 0 | 1,4 | 25,5 | 118,9 | 119,8 | 786,9 |
| 2006 | 188,3 | 157,1 | 81,1 | 51,9 | 0,1 | 0 | 1,8 | 0 | 4,5 | 51,4 | 78,6 | 187,5 | 812,0 |
| 2007 | 198,6 | 185,1 | 124,3 | 53,2 | 4,9 | 0 | 0 | 0 | 23,2 | 55,2 | 62,5 | 159,4 | 866,2 |
| 2008 | 207,8 | 189,3 | 116,8 | 59,6 | 18,2 | 0 | 7,7 | 0 | 4,2 | 24,8 | 172,4 | 173,7 | 974,0 |
| 2009 | 210,5 | 168,2 | 162,5 | 60,2 | 21,3 | 0 | 0 | 24,8 | 0 | 28,9 | 88,1 | 137,9 | 900,0 |
| 2010 | 226,2 | 164,9 | 142,8 | 34,0 | 8,7 | 0 | | | | | | | |

Se observa la complementariedad de los datos: los meses de enero, febrero, marzo, noviembre y diciembre sólo muestran valores no nulos para los grados-mes calor; los meses de junio, julio, agosto y septiembre práctica-mente sólo presentan valores no nulos para los gra-dos-mes frío; y los restantes (abril, mayo y octubre) son una transición entre estaciones climáticas. Los datos acumulados por años indican la intensidad del frío y del calor en inviernos y veranos. El invierno más frío se dio en 2007 y el más suave en 2001. El verano más caluroso fue el de 2008 y el más fresco el de 2003.

Consumo de gas del sector eléctrico en GBA y temperatura

Con el fin de detectar posibles interrelaciones entre las temperaturas y el consumo (disponibilidad en invierno) de gas para generación térmica, se utilizaron los datos desagregados regionalmente para el Gran Buenos Aires (GBA) y se han cons-truido gráficos de dispersión de las series de temperaturas consideradas. En la figura 6 se muestran los diagramas de dispersión del consumo de gas del sector eléctrico en función de las temperaturas del GBA.

Figura 6: Consumo de gas del sector eléctrico del GBA en función de la temperatura.



Se observa que tanto la temperatura media como la mínima media ajustan a un 90% a una ecuación cuadrática de grado 2. En la figura 7 se muestra el régimen intraanual de consumo de gas para generación de electricidad en el que se lo compara con las temperaturas en el GBA.

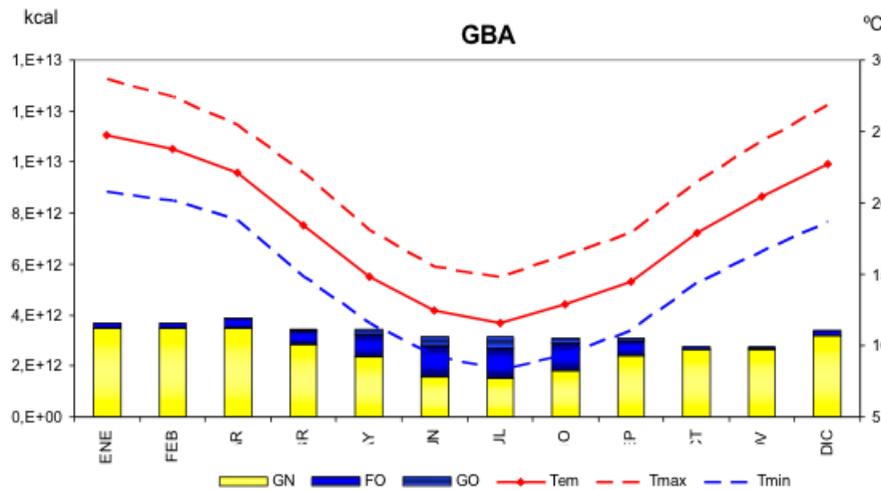
Generación hidroeléctrica y consumo de gas natural

En Argentina, en promedio, casi el 40% de la energía utilizada se genera a través de empresas hidroeléctricas, cuyo aporte principal lo dan la zona del Comahue con el 60% (ríos Limay y Collon Curá) y Yacypetá y Salto Grande con el 35% (ríos Paraná y Uruguay) [10]. Los caudales aumentarán o disminuirán y en consecuencia también la producción hidroeléctrica. En los períodos de sequía, que producen en general importantes bajas en la hidráulidad, es importante poder prever la utilización de generación térmica.

Con respecto a la oferta de las centrales térmicas las variaciones se relacionan a distintos efectos combinados. Por un lado su propia estacionalidad del consumo eléctrico,

visto con anterioridad, y las variaciones asociadas a los ciclos hidrológicos, así como a su variabilidad, debido a que estas usinas son convocadas a generar la diferencia entre estas dos variables complementando el abastecimiento del sistema.

Figura 7: Régimen de consumo de gas del sector eléctrico en GBA. En la misma figura se presentan las curvas de temperaturas medias y máximas y mínimas medias, y el consumo de combustibles líquidos (FO y GO).

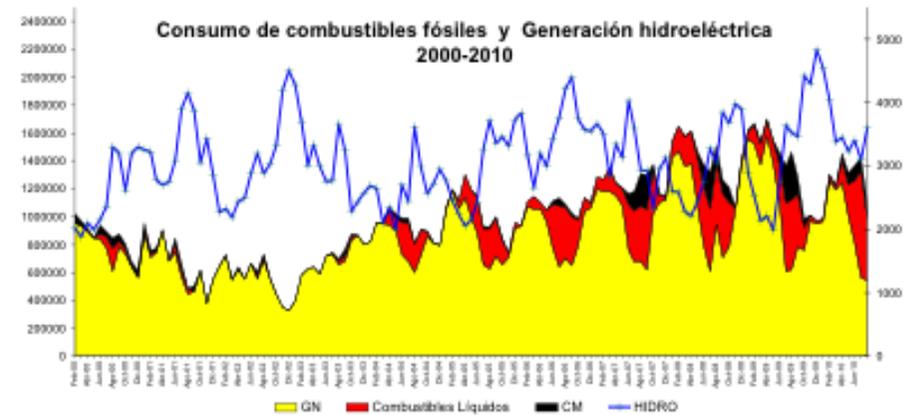


Otro inconveniente importante está dado por las restricciones de suministro de gas que experimentan en invierno, que obligan a las centrales a recurrir a la utilización de sustitutos más caros y más contaminantes como fuel oil y gas oil.

En la figura 8 se puede observar 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 identifican claramente los años con mayor hidraulicidad en los períodos 2001-2002 y los períodos de baja hidraulicidad en 2003-2004, 2007-2008.

Se puede observar claramente la complementariedad de estas dos fuentes dado que cuando hay mayor hidraulicidad, que se traduce en un mayor uso de la energía hidráulica, disminuye el uso de la generación térmica y como consecuencia de esto último disminuye el consumo de combustibles fósiles.

Figura 8: Evolución del consumo de combustible para generación térmica y generación hidroeléctrica del período 2000-2010.



Es de notar que en el peor momento de la crisis socio-económica 2001-2002, hubo un mayor despacho de energía hidroeléctrica, no sólo mayor en relación a lo generado históricamente sino también en relación a la energía producida térmicamente. La energía de origen térmico fue baja por la mayor disponibilidad hidráulica en coincidencia con la menor demanda, producto de la crisis económica. Son dos efectos superpuestos.

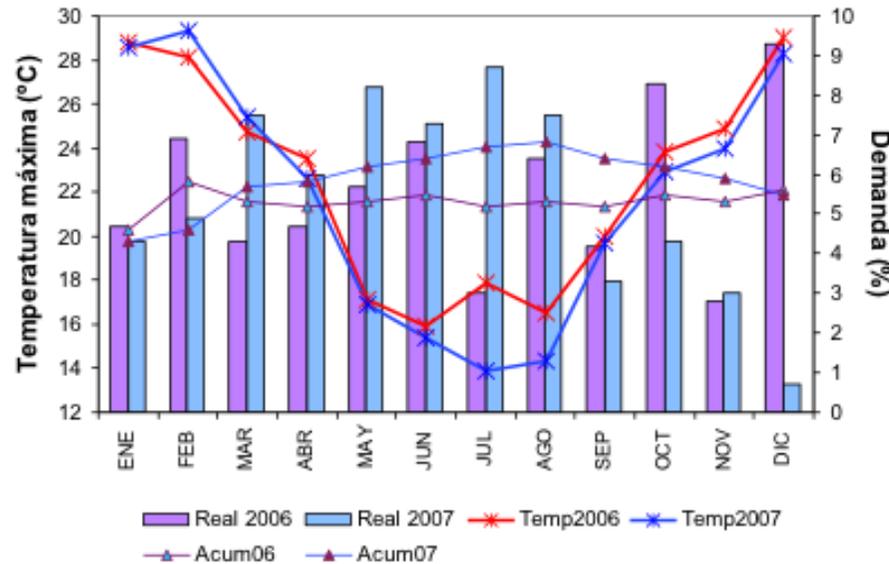
Se puede observar la situación del año 2003 y principios de 2004 cuando se produjo una sequía importante en el litoral argentino [11]. Los meses del período considerado fueron acompañados por temperaturas medias superiores a las normales.

Temperatura y demanda de electricidad

Un buen ejemplo del cambio notorio que se observa en el incremento de la demanda de electricidad con la disminución de las temperaturas mínimas en invierno. El año 2007 se caracterizó por ser uno de los inviernos más fríos en los últimos 100 años. Frecuentes e intensas irrupciones de aire frío polar llegaron a afectar regiones tropicales [12] Como consecuencia de un conjunto de factores que involucraron la falta de gas, muy bajas precipitaciones y la salida del servicio de varias turbinas (provocadas en mayor parte por la no preparación para el uso de combustibles líquidos y por los problemas de mantenimiento provocados por su uso intensivo) [13], 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 2006 muestran un mayor requerimiento en los meses de menores temperaturas respecto del año 2006 (Figura 9).

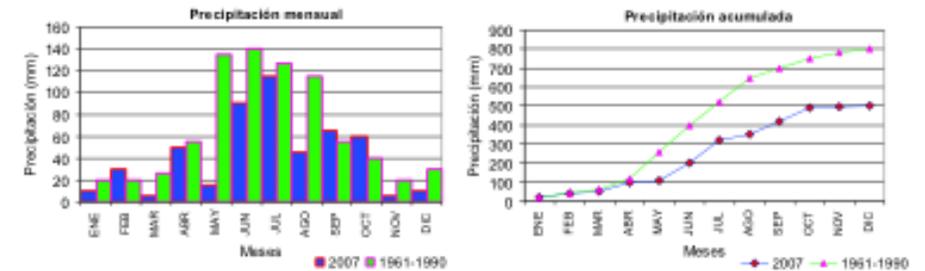
Figura 9: Crecimiento de la demanda de electricidad y temperatura mínima 2006 y 2007.



En el año 2007 las precipitaciones en la zona del Comahue fueron inferiores a los valores normales durante la mayor parte del año, principalmente en el período mayo-agosto (época en que se producen las mayores precipitaciones de la región). El total anual fue inferior al normal anual en un 38%. La figura 10 muestra la evolución, a lo largo del año, del total mensual y de la precipitación acumulada en una localidad representativa de la zona.

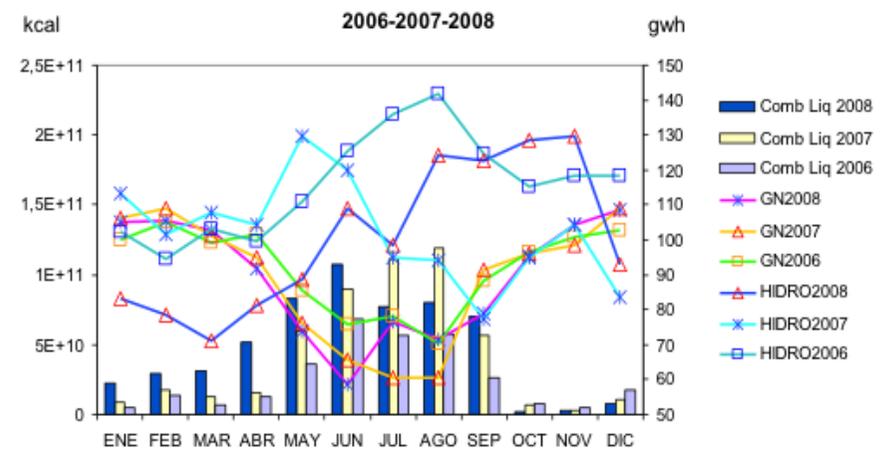
Esta característica de año hidrológico seco, asociado al alto crecimiento de la demanda, ya mencionado, llevó a una gran utilización de las reservas hidráulicas del área Comahue y a la importación de energía desde Brasil. Esto situó a los embalses en franjas de operación extraordinarias, y debido a las bajas precipitaciones no pudieron reponerse totalmente, condicionando así la operación del año 2008. Se debe tener en cuenta además que el operar los embalses por debajo de sus niveles óptimos afecta la eficiencia de las turbinas (m³/kWh) dado que la eficiencia mejora cuanto mayor es la altura de la caída del agua.

Figura 10: Precipitación acumulada anual (a) y acumulada mensual en una ciudad representativa de la zona del Comahue.



La figura 11 muestra las variaciones de la oferta eléctrica de origen hidráulico que está centrada en las oscilaciones de la hidroelectricidad para los años 2006 y 2007. Se observa, como se incrementa la oferta en el período invernal, con valores que superan en un 15% al promedio anual. En la misma figura podemos observar la diferencia en la generación entre el año 2006 y el 2007 especialmente en la segunda mitad del año donde se observa el déficit de generación hidráulica en el último año [13].

Figura 11: Consumo de combustible para generación termoeléctrica y generación hidroeléctrica 2006, 2007 y 2008.



CONCLUSIONES

La relación entre el clima y la demanda de electricidad es muy directa y clara ya que las temperaturas extremas, tanto altas como bajas, provocan un aumento de la demanda de electricidad, demanda que es abastecida con mayor generación eléctrica o importación. Con respecto a la influencia del clima en el consumo de gas natural del sector eléctrico es mucho más complejo debido a que se superponen distintos efectos, alguno con incidencia a su vez sobre la generación eléctrica.

El primer efecto es la influencia de la temperatura. Cuando se producen temperaturas muy bajas aumenta fuertemente el consumo del gas natural residencial y dado que la capacidad de transporte de este fluido es limitada, ésta es superada por la demanda, y quedan sin abastecerse parcialmente los requerimientos de gas de los generadores eléctricos, que entonces deben sustituir este combustible por combustibles líquidos, produciendo una disminución del consumo de este fluido.

Un efecto indirecto de la temperatura sobre la generación eléctrica es que el uso de combustibles líquidos a su vez provoca mayores problemas de mantenimiento en algunos de los equipos de generación térmica (además hay equipos que solo pueden funcionar con gas) por lo que aumenta fuertemente la indisponibilidad de estos equipos provocando que se deba recurrir a la importación de energía eléctrica para cubrir la demanda, aun contando con potencia instalada suficiente.

El otro efecto del clima es la influencia de los periodos de mayor o menor precipitación sobre la demanda de combustibles fósiles. Al contar con mayor generación hidráulica (producto de las mayores precipitaciones) hay menor generación térmica y por lo tanto menor uso de combustibles fósiles y por lo tanto menor presión sobre la demanda de gas. Este efecto puede ser amortiguado o desplazado en el tiempo por la política de uso del agua de los embalses

REFERENCIAS

- [1] D. Ojeda Esteybar; R. Rubio Barros; O. Añó; A. Vargas. 2009 Despacho óptimo integrado de sistemas de gas natural y electricidad: comparación con un despacho desacoplado y aplicación al sistema argentino. Actas del XII ERIAC, 1-9
- [2] S. Gil, J. Deferrari, 2004. Generalized Model of Prediction of Natural Gas Consumption Journal of Energy Resources Technology, 126, 95.
- [3] S. Gil 2007. Proyección de la demanda de gas para mediano y largo plazo. Prerotecna XLVIII, 5, 86-101.
- [4] CAMMESA, Datos disponibles en www.cammesa.com
- [5] D. Sailor, J. R. Muñoz, 1997. Sensitivity of Electricity and Natural Gas Consumption to Climate in the USA-methodology and Results for Eight States, Energy, 22, 10, 987-998.
- [6] A. Pardo, V. Meneu, E. Valor, 2002. Temperature and Seasonality Influences on Spanish Electricity Load, Energy Economics, 24, 55-70.
- [7] E. Valor, V. Meneu, V. Caselles, 2001b. Daily Air Temperature and Electricity Load in Spain, Journal of Applied Meteorology, 40, 8, 1413-1421.
- [8] E. Valor, A. Pardo, V. Meneu, V. Caselles, 2001a. Consumo eléctrico y meteorología, Revista Española de Física, 15, 4, 21-27.
- [9] S. Gil, J. Deferrari, 1999. Modelo de Predicción del Consumo de Gas Natural de la República Argentina. Prerotecna XL, 3, Sup. Tecn. 1,1.
- [10] C. Rössler, 2009. La Crisis Energética en un Mundo con Cambio Climático: La Opción Nucleoeléctrica en Argentina, Revista COPIME Consejo Profesional de Ingeniería Mecánica y Electricista. LA Revista. 20, 26-30.
- [11] A. Alessandro, 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, 23, n.1, 12-29.
- [12] SMN, 2007. Síntesis boletín climatológico. Archivo Información histórica. Informes mensuales y anual.
- [13] CAMMESA, 2007. Informe Anual. En: www.cammesa.com.ar.

Instalación de un Observatorio Geofísico en Uruguay y resultados del primer monitoreo geomagnético

RESUMEN

Si bien Uruguay ha logrado alcanzar en las últimas décadas un nivel académico destacado en diversas disciplinas científicas y tecnológicas, el desarrollo de las Geociencias, y sus aplicaciones sociales e industriales, no ha tenido un desarrollo acorde a las necesidades y potencialidades del área. En particular, el monitoreo de parámetros geofísicos y su prospección es casi nulo a nivel de territorio uruguayo.

Uruguay es un país con un bajo riesgo sísmico, sin embargo el mismo no puede ni debe considerarse nulo. La ausencia de una Estación Sismológica permanente impide caracterizar adecuadamente los riesgos sísmicos en las distintas regiones y sus diferentes orígenes. El conocimiento de la actividad sísmica a nivel regional tiene, además del interés social de prevención, un interés económico vinculado a las medidas que se deben tomar para la mitigación de los movimientos causados por los sismos.

Por otra parte, Uruguay se encuentra en centro de la Anomalía Magnética del Atlántico Sur, una región del planeta con los menores valores de campo magnético a nivel mundial. Esto trae consecuencias como ser una mayor vulnerabilidad a las radiaciones cósmicas nocivas. Las tormentas solares producen tormentas geomagnéticas, con consecuencias a nivel de las tele y radiocomunicaciones, y la generación de corrientes inducidas en líneas de alta tensión y ductos de larga extensión (gasos, mineros u oleoductos). Por lo tanto la instalación de una Estación Geomagnética será de utilidad para varias actividades industriales y de prevención.

Se describe las motivaciones para la instalación del primer observatorio geofísico del Uruguay, que cuente inicialmente con una estación sismológica y geomagnética. Para la instalación del observatorio se ha seleccionado un lugar en el Departamento de Mal-

Leda Sánchez Bettucci (1,2)

Gonzalo Tancredi (3,2,4)

1 Área Geofísica-Geotectónica, Instituto de Ciencias Geológicas, Facultad de Ciencias, Universidad de la República

2 Observatorio Astronómico y Geofísico de Aiguá

3 Departamento de Astronomía, Facultad de Ciencias, Universidad de la República

4 Observatorio Astronómico Los Molinos, DICYT – MEC

leda@fcien.edu.uy - gonzalo@fisica.edu.uy

donado, a 220km de Montevideo. Allí se instalará el Observatorio Astronómico y Geofísico de Aiguá (OAGA).

Se presentan además los resultados preliminares del primer monitoreo del campo magnético desde el OAGA. Los valores de intensidad del campo total que se midieron son los menores valores entre todos los observatorios geomagnéticos del mundo.

CONSIDERACIONES PARA LA INSTALACIÓN DE UN OBSERVATORIO GEOFÍSICO EN URUGUAY

Se presentan las consideraciones que fundamentan la necesidad de la instalación de un Observatorio Geofísico en Uruguay, que cuente por lo menos con dos estaciones de observación:

A) Estación Sismológica

B) Estación Geomagnética

A) ESTACIÓN SISMOLÓGICA

La República Oriental del Uruguay no cuenta con un observatorio sismológico permanente. Esta carencia ha sido una de las principales causas por las que la sismología es un área de vacancia significativa en el desarrollo científico-tecnológico del país. Al ubicarse nuestro país en una región geológicamente estable (intraplaca), alejado de los límites de placas tectónicas donde se generan la mayoría de los terremotos y volcanes, se ha asumido que no es necesario llevar adelante monitoreos y estudios sismológicos

sistemáticos. Esta carencia acarrea, y puede significar importantes inconvenientes en el desarrollo de la actividad científica y socioeconómica. Entre las principales razones por las que el Estado uruguayo debiera contar con una Estación Sismológica permanente se pueden mencionar:

1- Monitoreo de la sismicidad que afecta a Uruguay

El Uruguay es un país con un bajo riesgo sísmico, sin embargo el mismo no puede ni debe considerarse nulo. La ausencia de una Estación Sismológica permanente impide caracterizar adecuadamente los riesgos sísmicos en las distintas regiones y sus diferentes orígenes. Entre las causas más significativas que deben considerarse como potenciales, de eventuales riesgos sísmicos, merecen mencionarse

a) Colapsos gravitacionales en el talud continental: el talud de la plataforma continental de Uruguay, el sur de Brasil y Argentina ha sufrido y sufrirá en el futuro procesos de remoción en masa producto de la inestabilidad gravitatoria de parte de los sedimentos allí depositados. Estos son causantes de sismos que pueden alcanzar magnitudes moderadas y a su vez pueden ser generadores de tsunamis. Contar con un Observatorio Sismológico permitirá monitorear estos fenómenos, sus causas y su potencial como generadores de tsunamis y evaluar los riesgos de las diferentes poblaciones costeras ante tales procesos. El desarrollo de un sistema de prevención y alerta de tsunamis por estas causas se vería seriamente limitado de no contarse con un observatorio sismológico en territorio uruguayo que permita ayudar a determinar rápidamente la magnitud, localización y características del evento.

b) Sismicidad en la Cuenca del Plata: el riesgo sísmico en la Cuenca del Plata no es nulo, como lo prueban registros históricos de sismos con intensidades bajas a moderadas [2]. Merece destacarse el sismo ocurrido en 1888 que afectara ambas costas del Río de La Plata, produjera daños de cierta significación y hasta una tsunami en las aguas del Río de La Plata (en esa época la población era escasa). La repetición de un sismo de estas características hoy día podría producir daños materiales de envergadura y a los seres humanos muy superiores, si se considera el aumento exponencial de la población en ambas riberas, el enorme y variado cuadro de infraestructura y la falta de concientización pública. Es de destacar que sismos de intraplaca (alejados de los márgenes de las placas), si bien son poco frecuentes, pueden ser de grandes magnitudes y causar enormes daños como los ocurridos en 1812 y 1813 en Nueva Madrid (EEUU). Otros sismos

de relevancia en el Río de la Plata ocurrieron en 1971 [3] y en 1988 [1], este último en el borde de la plataforma continental, con epicentro a 250km al Este de Punta del Este. El sismo de magnitud 5.2 de la escala Richter, fue registrado por varios sismógrafos de la región (Figura 1). No obstante, la sismicidad de la Cuenca del Plata es virtualmente desconocida, en buena parte debido a la ausencia de observatorios sismológicos en Uruguay. Este desconocimiento implica que no puede evaluarse con precisión el real riesgo sísmico de la región así como la localización, extensión y actividad de las potenciales fallas activas. La instalación de un observatorio sismológico en nuestro país permitirá comenzar a subsanar este enorme déficit.

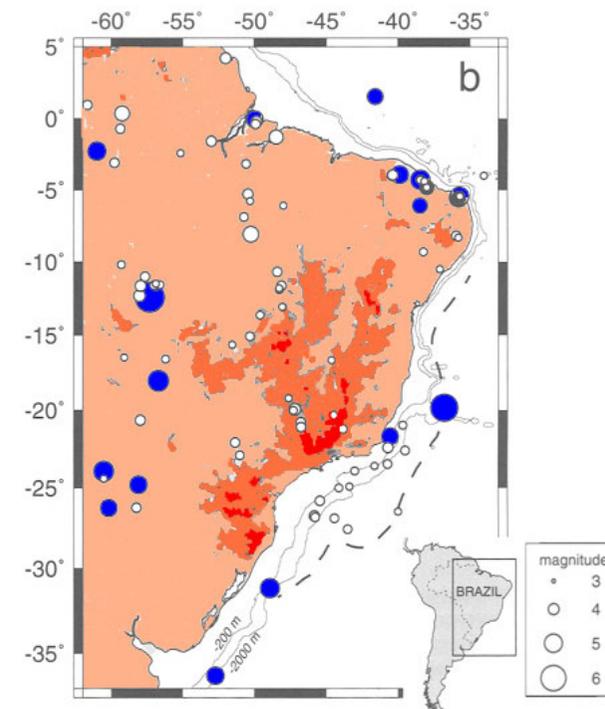


Figura 1 - Distribución de epicentros de sismos en la región este de Brasil y Uruguay, incluyendo las plataformas continentales. Corresponde a sismos ocurridos de 1950 a la fecha. (tomado de [1])

2- Estudio de las estructuras del subsuelo de nuestro país

El estudio de las ondas sísmicas recibidas en observatorios provenientes de sismos cercanos y lejanos permite ayudar a caracterizar los principales rasgos de la corteza en la región donde se encuentra el observatorio. La presencia de un observatorio en Uruguay permitirá estudiar cómo está conformado el basamento geológico de nuestro país, cuántos

les son sus estructuras mayores, el diverso espesor cortical, etc. Estos estudios no solo tienen un alto impacto académico, sino que aportan conocimiento de base sustancial para una mejor y más eficiente exploración y prospección de los recursos naturales.

3- Formación de Recursos Humanos

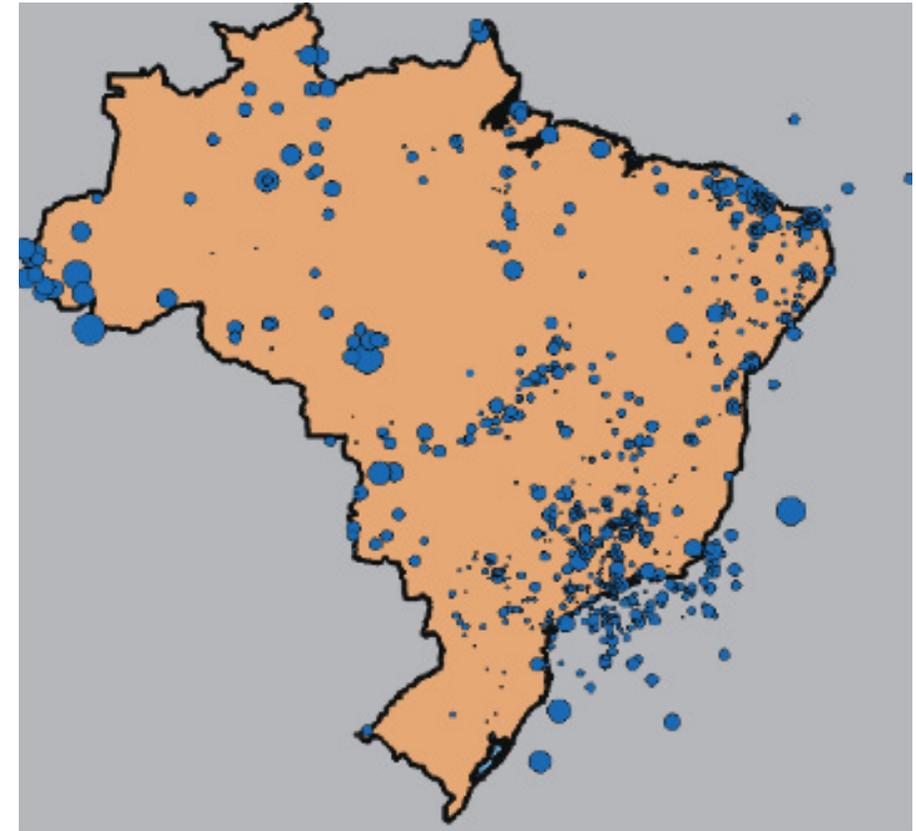
La carencia de una Estación Sismológica ha impedido casi completamente la formación de recursos humanos en Sismología en Uruguay con el consiguiente déficit en una disciplina estratégica dentro del campo de las Ciencias de la Tierra.

El conocimiento de la actividad sísmica a nivel regional tiene, además del interés social de prevención, un interés económico vinculado a las medidas que se deben tomar para la mitigación de los movimientos causados por los sismos. En particular, cabe destacar, el análisis que está llevando adelante el Gobierno de Uruguay en relación al uso de la Energía Atómica y la instalación de una Central para esos fines. Entre los aspectos a analizar están las consideraciones que se deben tomar en la construcción de una Central Nuclear referente a los riesgos sísmicos.

Otro problema similar al anterior representa la prospección de recursos petroleros off-shore y la posible instalación de plataformas petroleras en la plataforma continental uruguaya o la instalación de grandes represas hidroeléctricas, a los que pueden estar sometidas estas estructuras sin antes conocer a cabalidad la actividad sísmica regional. Por tanto, la instalación de una estación sísmica aportará datos fundamentales para los estudios de factibilidad.

Por otra parte el monitoreo sísmico permitirá estimar la relevancia de los sismos inducidos asociados a diversas actividades industriales (sismos artificiales). El importante desarrollo que está teniendo la actividad minera en Uruguay debe ir acompañado de un control de las consecuencias ambientales que la misma puede acarrear. Las explosiones generan sismos que deben ser monitoreados. Además, los grandes depósitos de agua de las represas hidroeléctricas pueden producir desplazamientos para la compensación de las masas litosféricas que generan sismicidad inducida. Es imposible en el presente hacer una evaluación seria de los riesgos sísmicos asociados a estas actividades industriales sin un monitoreo continuo de la actividad.

Figura 2 – Mapa de epicentros de los sismos ocurridos en el Brasil entre 1720 y 2006. El tamaño de los círculos corresponde a las magnitudes entre 3 y 6.3 mb. (tomado de [4])



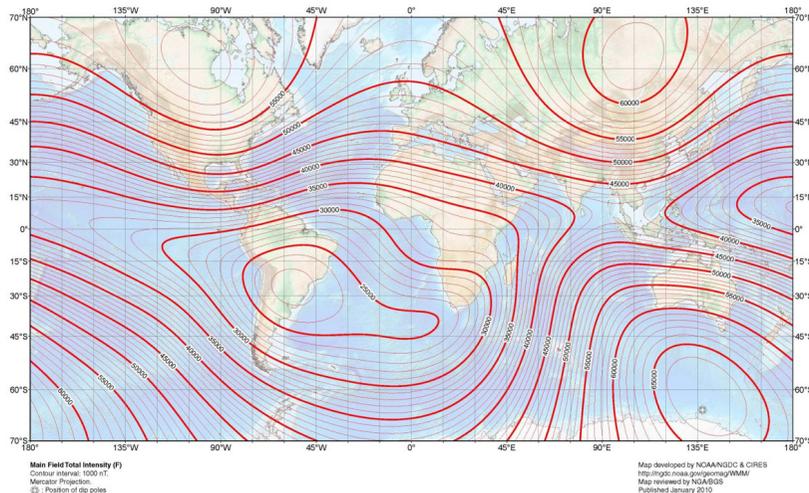
La real dimensión de la importancia de los estudios sismológicos está dada por la prioridad que dan a estos estudios otros países. Por ejemplo, Brasil adquirió recientemente un gran número de sismógrafos de banda ancha, lo que ha mejorado el nivel de detección de sismos en todo su territorio. Prueba de ello es la comparación de un mapa de epicentros que se presenta en la Fig. 1, que incluye datos hasta el año 1996, con el nuevo mapa con datos al 2006 de la Fig. 2. Es notable el aumento del número de sismos detectados, especialmente en la región de San Paulo – Rio de Janeiro, donde se concentran los sismógrafos recientemente instalados. Cabe destacar que los riesgos sísmicos de Brasil no difieren sustancialmente de los de Uruguay, y en parte los comparten.

Por lo anterior, se considera que la compra e instalación de una Estación Sismológica dentro del Observatorio Geofísico es de singular relevancia para la Ciencia y la Sociedad uruguaya.

B) ESTACIÓN GEOMAGNÉTICA

El campo magnético terrestre pasa de forma inadvertida en lo cotidiano, pero es sabido que el campo geomagnético se ha reducido considerablemente en los últimos años. A partir de las mediciones sistemáticas que se iniciaron en 1845, se ha reconocido un decaimiento de la intensidad del orden del 10% en los últimos 160 años, y de alrededor de un 5% en los últimos 10 años. Este descenso es más importante en algunas regiones del planeta. El Uruguay se encuentra en centro de la Anomalía Magnética del Atlántico Sur (con valores inferiores a la mitad del valor medio del planeta, Fig. 3) lo que implica que somos más vulnerables a las radiaciones cósmicas nocivas. En nuestra región, se estima que el valor del campo magnético total ha caído cerca del 20% en los últimos cien años (Fig. 4). Pese a esta situación particular, el Uruguay no cuenta con una Estación Geomagnética.

Figura 3 – Distribución de la intensidad total del campo geomagnético, representado por líneas de iso-intensidad. La unidad de las isolneas es nanoTesla (nT). Nótese los bajos valores centrados en el Sur de Brasil y Uruguay que conforman la Anomalía Magnética del Atlántico Sur (tomado de [5]).



a) La inversión del campo geomagnético: los últimos estudios apuntan a que dentro de los próximos 1000 años el campo magnético se anulará y se producirá una inversión de los polos del campo magnético, que puede mantenerse incluso durante miles de años [6]. Asociado a estos fenómenos de desaparición temporaria del campo magnético pueden haber ocurrido un mayor número de extinciones masivas de especies; debido a las mutaciones asociadas por la mayor intensidad de radiación de rayos cósmicos. Es de destacar que estas inversiones del campo magnético terrestre no siguen un período regular, aunque el período medio entre cada inversión en los últimos 5 millones de años ha sido de 500.000 años [7,8]. Dado que la última inversión ocurrió hace 780.000 años, se refuerza la hipótesis de que estamos próximos a una inversión magnética. Pero las consecuencias de una inversión del campo magnético en el presente pueden ser mucho mayores que las ocurridas en la antigüedad, dada la dependencia de la Humanidad de las tecnologías que usan la electrónica [9,10].

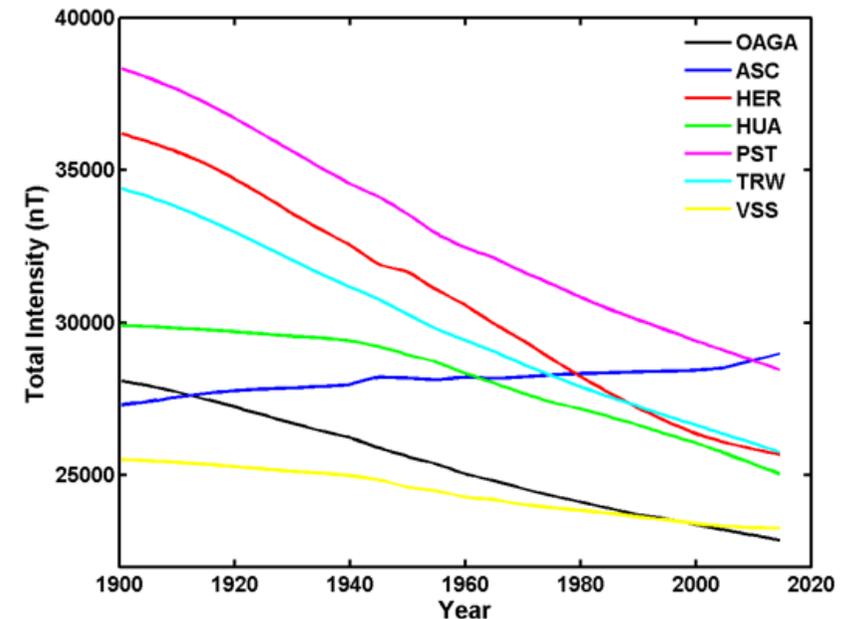


Figura 4 – Evolución temporal y pronóstico de tendencia de los valores de intensidad del campo magnético desde 1900 hasta el presente para observatorios de la región Atlántico Sur: OAGA (Aiguá, Uruguay), ASC (Isla Ascensión, Atlántico), HER (Hermanus, SudAfrica), HUA (Huancayo, Peru), Port Stanley (Islas Malvinas, Atlántico), TRW (Trelew, Argentina), VSS (Vassouras, Brasil).

b) Además de las variaciones de largo plazo, el campo magnético de la Tierra se ve afectado por variaciones de corto plazo, producto de la interacción con el cambiante campo magnético solar y el viento solar. Estas variaciones tienen consecuencias sobre la Magnetósfera e Ionósfera de la Tierra, las que son de vital importancia para diagnosticar las condiciones para radiocomunicaciones por ondas cortas de radio. El flujo de partículas muy energéticas (protones y electrones) a nivel de tope de la atmósfera alcanza en la región de la anomalía valores miles de veces superior al resto del planeta (Fig. 5). Esto genera un número muy importante de desperfectos en la electrónica de satélites de baja altura, que lleva a que los instrumentos a bordo dejen de operar cuando el satélite pasa sobre la anomalía del Atlántico Sur (Fig. 6). Además, las variaciones del campo magnético pueden generar corrientes inducidas en líneas de alta tensión y ductos de larga extensión (gas, minero u oleoductos). Por tanto, la existencia de una Estación Geomagnética será de gran importancia y beneficio a las áreas de las Telecomunicaciones, Navegación, Física de la Alta Atmósfera, con aplicaciones en: prospección de recursos naturales (como las que se encuentran realizando la ANCAP en hidrocarburos), perforación, Aviación Civil, Militar (Seguridad y Defensa), Aeroespacial, entre otros. También podrá contribuir a mejorar la precisión de estudios geofísicos donde se utilice magnetometría para explorar debajo de la superficie terrestre. Servirá de apoyo a la calibración de brújulas, vital para la elaboración de mapas con valores precisos de la declinación magnética. El observatorio proporcionará al país cartas geomagnéticas de nuestro territorio y un patrón para la calibración de las brújulas y otros instrumentos de medición.

c) La creación de una estación geomagnética permitirá registrar de manera constante y permanente las variaciones del campo geomagnético en nuestro país, por lo que resulta fundamental la adquisición de un Variógrafo vectorial de tres componentes con muestreo al segundo. El mismo deberá de ser construido bajo los estándares de la International Association of Geomagnetism and Aeronomy (IAGA), con el propósito de formar parte de la red mundial de observatorios geomagnéticos INTERMAGNET, con lo cual contribuiríamos con las cartas geomagnéticas globales y un mejor conocimiento del campo geomagnético (investigaciones de carácter científico) de nuestro planeta. Según las estimaciones basadas en los modelos de la Fig. 4, la instalación de una estación geomagnética en Uruguay permitiría obtener los menores valores de intensidad de campo a nivel mundial respecto a las otras estaciones ya instaladas.

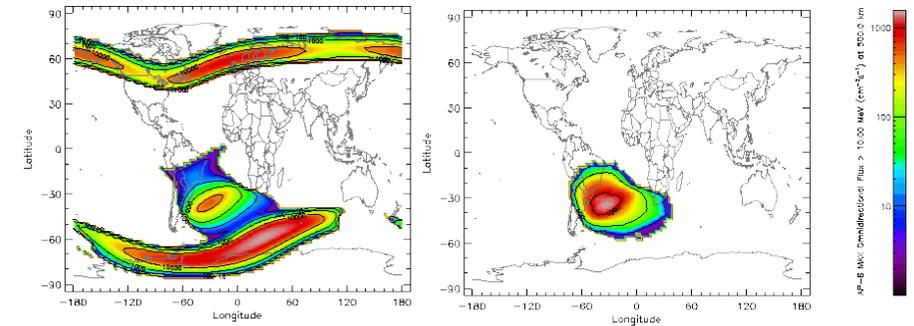


Figura 5 – a) Mapa de la intensidad del flujo de electrones energéticos a 500km. b) Idem para el flujo de protones energéticos. (tomado de [11])

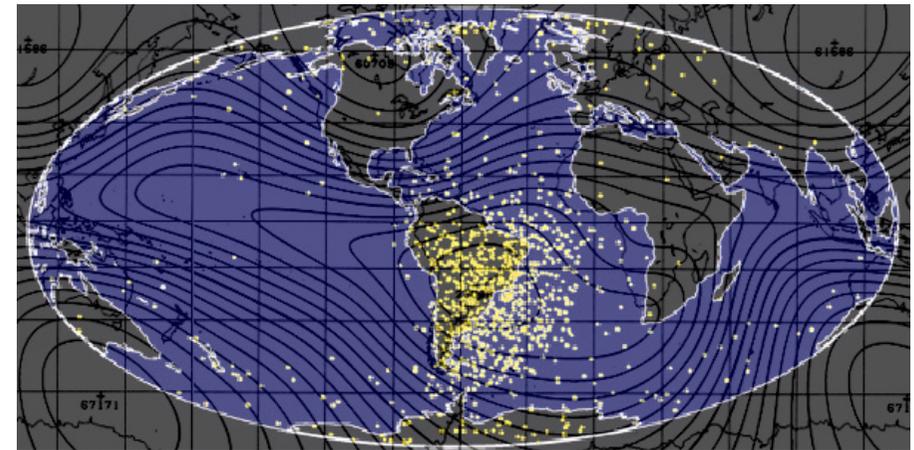


Figura 6 – Desperfectos de memoria (memory upsets) detectados por el satélite UO-SAT. Superimpuesto los niveles de intensidad de campo magnético. (tomado de [12])

LA NECESIDAD DEL MONITOREO: ¿PORQUÉ?

A continuación presentamos en forma resumida los aportes que implicaría contar con un monitoreo sísmico y geomagnético continuo desde Uruguay.

Monitoreo Sísmico

- Estimar la actividad sísmica en Uruguay y la cuenca del Río de la Plata.
- Contribuir al monitoreo de sismos en la zona atlántica, como ser en la dorsal o en la región Antártica-Scotia.
- Determinar los niveles de sismicidad inducida (artificial) por actividades humanas como las represas y la explotación minera.
- Tomar acciones de prevención civil.
- Determinar la estabilidad de grandes estructuras frente a la actividad sísmica: plataformas petroleras, centrales atómicas, represas.

Monitoreo Geomagnético

- Contribuir al conocimiento sobre la evolución de la Anomalía Magnética del Atlántico Sur.
- Determinar los niveles de variación de diurna y anual del campo magnético terrestre y su interacción con el viento solar.
- Conocer las variaciones del campo magnético de corto plazo para usos industriales: prospección geofísica, mediciones con equipamiento magnético.
- Prevención frente a tormentas geomagnéticas y efectos asociados: corrientes inducidas, alto flujo de partículas energéticas, radiación sobre satélites, efectos sobre la ionosfera, ionización y mutaciones,

UBICACIÓN DEL OBSERVATORIO GEOFÍSICO

En la Fig. 7 se presentan la distribución de estaciones sismológicas y geomagnéticas de Sud América integrantes de las diversas redes internacionales (ver Redes de estaciones en Referencias):

- CTBTO - Comisión Preparatoria para la Organización del Tratado de Prohibición Completa de los Ensayos Nucleares
- IRIS - Incorporated Research Institutions for Seismology
- INTERMAGNET - International Real-time Magnetic Observatory Network.

De la información anterior se desprende que la región de Uruguay no cuenta con cobertura tanto en relación a estaciones sismológicas como geomagnéticas; lo que hace por demás importante la instalación de un Observatorio Geofísico de las características propuestas.



Figura 7 – Distribución de sismológicas y geomagnéticas de Sud América

Para la ubicación precisa del Observatorio se deben tomar en cuenta ciertas consideraciones técnicas como ser: baja sismicidad artificial, acceso a afloramientos de rocas, ausencia de anomalías magnéticas locales, etc. Por tanto, se deberá hacer un estudio preliminar de posibles locaciones a fin de evaluar su factibilidad técnica. No obstante, se considera que la estación astronómica que se está instalando en el norte del Departamento de Maldonado, con el apoyo de la Intendencia local, es un lugar apto para dicho

emprendimiento. La Intendencia ya ha construido un local para la instalación de un telescopio y una sala de control, que pueden adecuarse a las necesidades del Observatorio Geofísico. Se adjunta una foto del estado actual de las construcciones y un mapa de la ubicación de la misma (Fig. 8).



Figura 8 – Sala de control del Observatorio de Aiguá (en construcción) y ubicación del lugar.

La nueva instalación lleva el nombre de la ciudad cercana, denominándose Observatorio Astronómico y Geofísico de Aiguá (OAGA). Se ubica dentro de la Estancia Turísticas Lagunas del Catedral. Las coordenadas del OAGA son:

Latitud: 34° 20 '0.89" S

Longitud: 54° 42' 44.72" W

Alt.ura: 270m

Paralelamente a los estudios de sitio se deberá ir formando personal para el manejo de los datos y mantenimiento de los equipos. En ese sentido se destaca la instalación en el Departamento de Maldonado de un Centro Regional de la Universidad de la República que ya ha manifestado interés en formar parte de este proyecto.

PRIMER MONITOREO DEL CAMPO MAGNÉTICO DEL URUGUAY

Como forma de ir testeando el lugar elegido inicialmente para la instalación del Observatorio y de conocer las condiciones geomagnéticas de la región, se han comenzado a hacer monitoreos del campo magnético, midiendo los niveles de intensidad total.

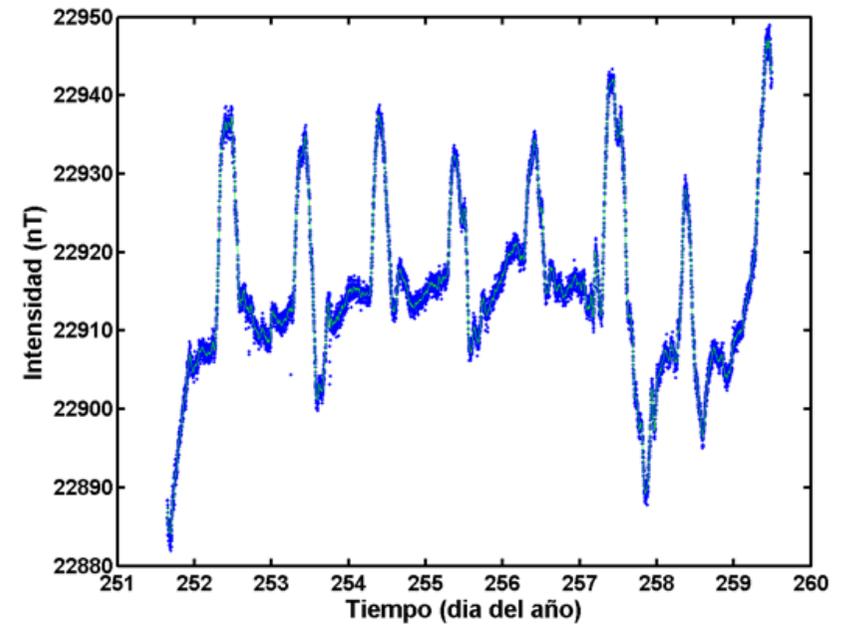


Figura 9 – Intensidad total del campo magnético medida con un magnetómetro protónico de precisión desde el Observatorio Astronómico y Geofísico de Aiguá entre los días 8 (día 251) y 16 (día 259) de Setiembre, 2010.

Se han hecho mediciones con un Magnetómetro Protónico de Precisión (Geometrics G856X) desde el Observatorio de Aiguá y de Los Molinos. El magnetómetro se coloca en un refugio trabajando en modo automático, tomando medidas cada 1 minuto. En la Fig. 9 se muestran las medidas tomadas desde el OAGA entre el 8 y 16 de Setiembre. Se observa un valor promedio en el entorno de las 22910 nT y variaciones diurnas con amplitudes hasta de ~60 nT (ver también Fig. 11). En la Fig. 10 se comparan los datos del OAGA con los obtenidos por otros observatorios integrantes de la red Intermagnet. Se seleccionaron los observatorios del Atlántico Sur que se ubican dentro o cercanos a la Anomalía. Se hace notar que el Observatorio de Vassouras (San Paulo, Brasil) no ha reportado datos en el período de las mediciones. Se puede apreciar que los valores medidos en el OAGA son los menores comparados con los otros observatorios de Intermagnet. Por tanto, de instalarse una estación geomagnética permanente en el OAGA integrante de la red, se obtendrían los menores valores de observatorios del mundo, Durante el período de las mediciones se observó una considerable variación de la ampli-

tud diurna de la intensidad del campo magnético. Para estimar la amplitud se aplicó un filtro de mínimo y máximo con una ventana de 12h y se hizo la diferencia entre máximo y mínimo. Las amplitudes obtenidas se presentan en la Fig. 11. Para poder entender las causas de las variaciones de amplitud observadas, se obtuvieron los datos del índice de actividad geomagnética conocido como Planetary A.-Index (PAI). El PAI es un promedio de estimaciones de varios observatorios del mundo, Se observa que las mayores amplitudes medidas en el OAGA se correlacionan con altos valores del PAI.

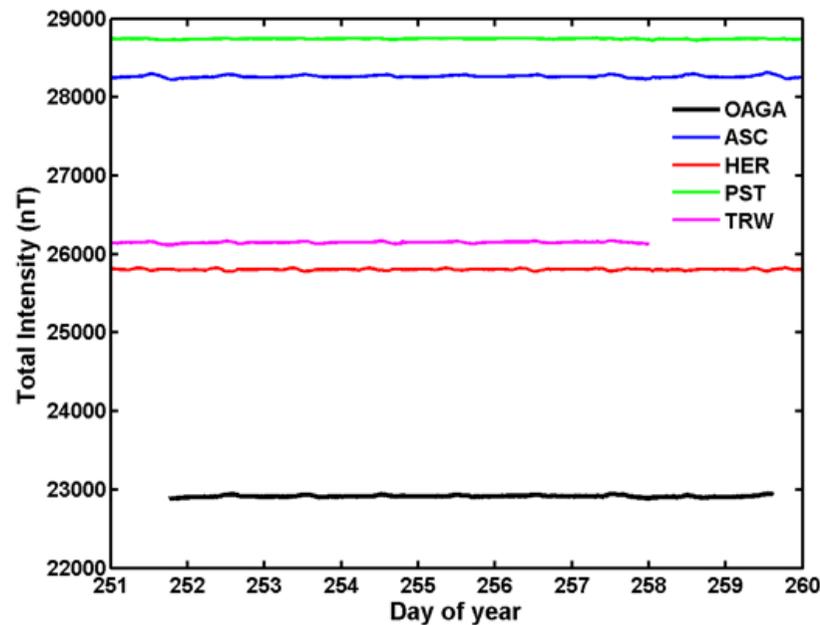


Figura 10 – Comparación de los valores de intensidad total del campo magnético entre el 8 (día 251) y 16 (día 259) de Setiembre de 2010 para observatorios del Atlántico Sur OAGA (Aiguá, Uruguay), ASC (Isla Ascensión, Atlántico), HER (Hermanus, SudAfrica), Port Stanley (Islas Malvinas, Atlántico), TRW (Trelew, Argentina). Datos del OAGA corresponden a los valores de la Fig. 8. Datos de los otros observatorios fueron obtenidos de la red Intermagnet (<http://www.intermagnet.org/>).

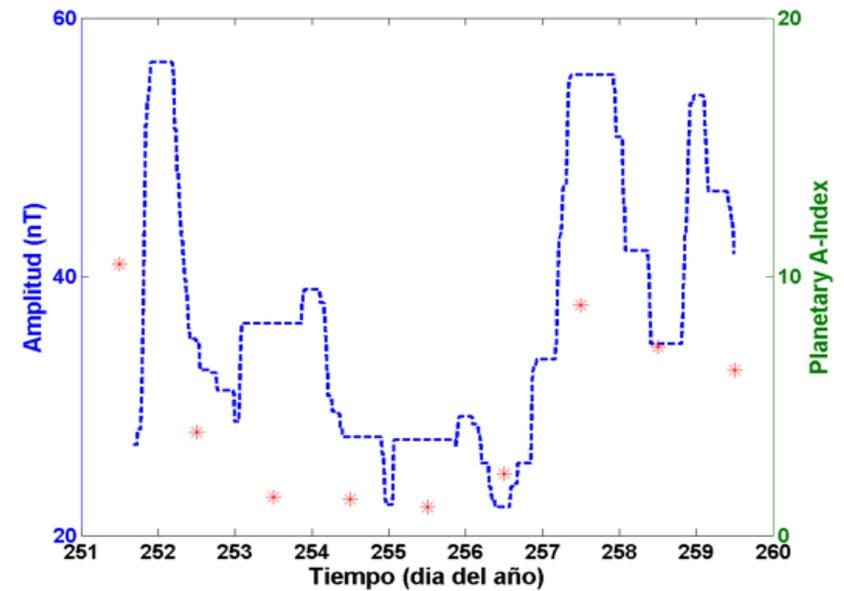


Figura 11 – Amplitud de la intensidad total del campo magnético medida como la diferencia entre el máximo y mínimo en un intervalo corrido de 12 horas. Se compara con el índice de actividad geomagnética denominado Planetary A-Index (PAI). Los valores de PAI fueron obtenidos de <http://www.solen.info/solar/>

Se realizó otro testeo desde el Observatorio Astronómico Los Molinos entre los días 30 de Agosto y 1 de Setiembre 2010. En la Fig. 12a se presenta la evolución de la intensidad total del campo magnético para esos días. Además de las variaciones diurnas del campo magnético se observan varios puntos con caídas pronunciadas de la intensidad total, de hasta ~60 nT respecto al promedio corrido.

En la Fig. 12b se presenta un histograma del número de caídas en intervalos de 0.5 horas. Durante los días de las medidas hubo fuertes tormentas eléctricas en la zona del Observatorio. Para analizar la relación entre las caídas de intensidad y la ocurrencia de descargas eléctricas producto de los rayos, se analizaron los datos proporcionados por el Grupo de Electricidade Atmosférica del Instituto de Pesquisas Espaciais, Brasil (<http://www.inpe.br/webelat/homepage/>). Se analizaron las imágenes proporcionadas por el website donde se contaron los rayos detectados en una región del Sur del Uruguay.

Los rayos contados en intervalos de 0.5h se presentan en la Fig. 12c. se observa una correlación estrecha entre el número de caídas y el número de rayos detectados. Las caídas de los valores de intensidad medidos podrían ser explicados por efectos en el instrumental producto de las descargas eléctricas de los rayos o por variaciones del campo magnético local. Al momento no se cuenta con una explicación total del fenómeno.

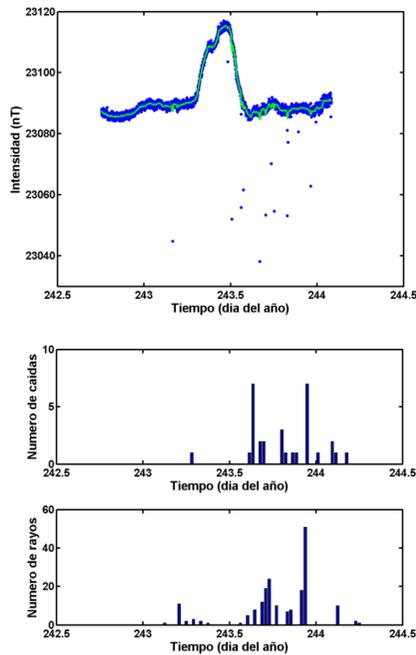


Figura 12 – a) Intensidad total del campo magnético medida con un magnetómetro protónico de precisión desde el Observatorio Astronómico Los Molinos entre los días 30 de Agosto (día 242) y 1 de Setiembre (día 244), 2010. Nótese los puntos con caídas pronunciadas de intensidad. b) Histograma del número de caídas de intensidad, consideradas como valores menores al promedio corrido menos 3 nT. c) Número de rayos contados en imágenes proporcionadas por el Grupo de Electricidade Atmosférica del Instituto de Pesquisas Espaciais, Brasil (<http://www.inpe.br/webelat/homepage/>).

CONCLUSIONES

Se presentaron las consideraciones que fundamentan la necesidad de instalar en Uruguay un Observatorio Geofísico.

El Observatorio Astronómico y Geofísico de Aiguá se debería constituir a futuro en una plataforma para el desarrollo de las Geociencias en Uruguay. Inicialmente se pretende que el Observatorio cuente con el siguiente instrumental:

- Telescopio de gran campo para el seguimiento de asteroides potencialmente peligrosos para la Tierra
- Sismógrafo
- Sensor geomagnético

A futuro se podrían incluir otros instrumentos como ser:

- Estación meteorológica
- Cámaras all-sky para bólidos y fracción de nubosidad
- Estación de GPS
- Detección de rayos y descargas eléctricas
- Detector de rayos cósmicos de bajas energías
- Detección de Transient Luminous Events en la ionósfera como ser: sprites, blue jets

Los testeos iniciales muestran que la instalación del OAGA presenta un gran potencial para el estudio de la evolución de la anomalía magnética del Atlántico Sur, dado que se tendrían los menores valores a nivel mundial de la intensidad del campo magnético entre los observatorios en funcionamiento.

REFERENCIAS

- [1] Assumpção M., 1998. Seismicity and Stresses in the Brazilian Passive Margin. Bulletin of the Seismological Society of America, 88, 160.
- [2] Benavidez, A. 1998. Sismicidad y sismotectónica en Uruguay. Física de la Tierra, 10, 167.
- [3] Jaschek E., 1972. ¿Hay Sismos en la Provincia de Buenos Aires?, Ciencia e Investigación, vol. 28, pp. 26-29.
- [4] Berrocal J., 2007. Informe sobre las principales actividades sismológicas en el Brasil durante el intervalo 2000 a 2007.
- [5] NOAA/NGDC & CIRES, 2010, <http://ngdc.noaa.gov/geomag/WMM/>
- [6] Coe, R. S., Prévôt, M., & Camps, P., 1995, New evidence for extraordinarily rapid change of the geomagnetic field during a reversal, Nature, 374, 687.
- [7] Fuller, M., 1989, "Fast changes in geomagnetism.", Nature, vol. 339, pp. 582-583.
- [8] Mankinen E., Wentworth C. 2003, Preliminary Paleomagnetic Results from the Coyote Creek Outdoor Classroom Drill Hole, Santa Clara Valley, California, <http://pubs.usgs.gov/of/2003/of03-187/of03-187.pdf>
- [9] Kappenman, J. G., & Radasky, W. A., 1999, Learning to Live in a Dangerous Solar System: Advanced Geomagnetic Storm Forecasting Technologies allow the Electric Power Industry to Manage Storm Impacts, Proceedings of Laboratory for Extraterrestrial Physics Brown Bag Seminar.
- [10] Odenwald, S. F., 2001, The 23rd Cycle: Learning to Live with a Stormy Star, ISBN: 0-2311-2079-6
- [11] Belgian Institute for Space Aeronomy , 2005. The Earth's trapped radiation environment, <http://www.oma.be/BIRA-IASB/Scientific/Topics/SpacePhysics/RadiationEnvironment3.html>
- [12] Reiff, P., 1999. The Sun-Earth Connection. <http://space.rice.edu/IMAGE/live-from/sunearth.html>

REDES DE ESTACIONES SISMOLÓGICAS Y GEOMAGNÉTICAS:

CTBTO - <http://www.ctbto.org/>

IRIS - <http://www.iris.edu/>

INTERMAGNET - <http://www.intermagnet.org/>

Biorremediación: puesta a punto del sistema *Helianthus Annuus-Glomus Intraradices* en la captación de metales contaminantes mediante microscopía electrónica de barrido (sem eds) y espectrofotometría de absorción atómica

RESUMEN

La progresiva degradación de los recursos naturales es causada por la gran diversidad de contaminantes tóxicos, en la atmósfera, agua, suelo y subsuelo, procedentes de diversas fenómenos naturales, por ejemplo volcanismo, y antropogénicas. El uso de especies vegetales tolerantes a altos niveles de metales en suelos y agua, permite actividades de restauración con menor impacto ambiental sobre los terrenos que otras técnicas tradicionales, más invasivas y con efectos secundarios adversos. Hay diversos trabajos que señalan al girasol como una planta hiperacumuladora de sustancias tóxicas y metales como Cd, Cr, Se, Al, Zn, Pb y U. Los hongos micorrízicos arbusculares son uno de los microorganismos más importantes del suelo y las raíces, y abundan en la mayoría de los ecosistemas terrestres, incluyendo áreas contaminadas, crecen dentro de las raíces de las plantas y se los considera una extensión de las mismas, por el gran volumen de suelo que exploran a través de su red hifal extra-radical. Para la puesta a punto del sistema *Helianthus annuus-Glomus intraradices* como fitorremediador se eligió el Zn por la alta concentración en cenizas provenientes de volcanes activos en la actualidad en la Provincia de Mendoza. En este trabajo se comprueba la capacidad hiperacumuladora del girasol para el Zn, la tolerancia del *Glomus intraradices* a altas concentraciones de Zn y la utilidad de la microscopía electrónica de barrido y microanálisis para verificar la acumulación de Zn en hojas y raíces, localizar los sitios de acumulación y evidenciar cambios en frecuencia y morfología de tricomas foliares.

Scotti, A. (1),
Godeas, A. (2),
Silvani, V. (2),
Yunes, N. (3).

López, S. (4),
Visciglia, M. (1),
Fóscolo, M. (5),

1 International Center for Earth Sciences- ICB-UNCuyo

2 Universidad de Buenos Aires, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales

3 Universidad Nacional de Cuyo, FCAI, San Rafael

4 CONEA, Ezeiza

5 Instituto de Histología y Embriología, Facultad de Medicina, UNCuyo

adalgisascott@icesmalargue.org

INTRODUCCION

Uno de los problemas más señalados por la sociedad a nivel mundial, que ocupa un lugar prominente en los programas sociales y políticos es el 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. La absorción de metales pesados por las plantas es generalmente el primer paso para la entrada de éstos en la cadena alimentaria. La absorción y posterior acumulación dependen en primera instancia del movimiento de los metales desde la solución en el suelo a la raíz de la planta. La movilidad relativa de los elementos traza en suelos es de suma importancia en cuanto a su disponibilidad y su potencial para lixiviarse de los perfiles del suelo hacia las aguas subterráneas y difiere de si su origen es natural o antrópico y, dentro de este último, al tipo de fuente antrópica. En plantas, el concepto de bioacumulación se refiere a la agregación de contaminantes; algunos de ellos son más susceptibles a ser fitodisponibles que otros [1]. El Zn puede encontrarse de forma natural y es un nutriente requerido por las plantas para su desarrollo [2]. Como elementos traza, algunos metales pesados [por ejemplo, cobre (Cu), selenio (Se), zinc (Zn)] son esenciales para mantener un correcto metabolismo en los seres vivos y en particular en el cuerpo humano [3]. Sin embargo, en concentraciones más altas pueden conducir al envenenamiento[1]. En el suelo, los metales pesados, pueden estar presentes como iones libres o disponibles, compuestos

de sales metálicas solubles o bien, compuestos insolubles o parcialmente solubilizables como óxidos, carbonatos e hidróxidos [4]. La fitoremediación de suelos contaminados es una técnica con grandes posibilidades. El uso de especies vegetales tolerantes a altos niveles de metales en suelos y agua, permite actividades de restauración con menor impacto ambiental sobre los terrenos que otras técnicas tradicionales, más invasivas y con efectos secundarios adversos [5]. Hay diversos trabajos que señalan al girasol como una planta hiperacumuladora de sustancias tóxicas y metales como Cd, Cr, Se, Al, Zn, Pb y U [6,7,8,9,10,11 y 12]. El uso de micorrizas arbusculares es una estrategia propuesta para la bioremediación [13]. Los hongos micorrízicos arbusculares (HMA) son uno de los microorganismos más importantes del suelo y las raíces, y abundan en la mayoría de los ecosistemas terrestres, incluyendo áreas contaminadas. Los HMA crecen dentro de las raíces de las plantas, y se los considera una extensión de las mismas, por el gran volumen de suelo que exploran a través de su red hifal extra-radical. Entre otros beneficios, los HMA contribuyen en la nutrición de la planta hospedante incrementando la captación de macronutrientes (principalmente de P y N) y micronutrientes, como el Cu ó Zn. Los metales pesados también pueden ser captados por las hifas del HMA, y ser transportados hacia la planta vía el micelio, por lo tanto, las plantas micorrizadas pueden aumentar la entrada de metales pesados (fito-extracción), e incluso el HMA puede contribuir a la inmovilización de dichos compuestos en el suelo por la producción de abundante micelio extra-radical (fito-estabilización). Existen pocos estudios sobre el efecto de metales tóxicos sobre el micelio extra-radical de los HMA. Investigadores estudiaron el efecto In Vitro de Cd, Pb y Zn sobre dos especies de HMA en etapas previas y posteriores al establecimiento de la simbiosis micorrízica, observando un efecto inhibitorio en la expansión del micelio extra-radical en medios enriquecidos por tales metales [14]. En estudios realizados con Ni en plántulas de girasol [15] se investiga la simbiosis con *Glomus intraradices* como estrategia de fitoremediación debido a que aumenta la captación y la tolerancia del Ni. Los mecanismos para aumentar la captación y tolerancia están en investigación, el Ni se almacena en las vacuolas o es transportado a través del citoplasma por complejos con ácidos orgánicos como malato y citrato o aminoácidos como la histidina y la glutamina [8,16 y 17] reportaron incrementos en el contenido de malato y citrato en plántulas de girasol después de la exposición a Al, Cd y Zn. Los factores que limitan el potencial de las especies hiperacumuladoras en la fitoremediación incluyen una serie de factores entre ellos una tasa de crecimiento lento y una baja biomasa [18,19 y 20]. Por lo tanto, especies de alta biomasa vegetal, como el tabaco o el girasol, parecen ser buenos candidatos para fines de fitoremediación [5 y 21].

Las actividades geológicas naturales, como desgastes de cerros y volcanes, constituyen una fuente de aportaciones importante de metales pesados al suelo. También las actividades antropogénicas como la industria minera, que está catalogada como una de las actividades industriales más generadora de metales pesados Se ha encontrado Zn en abundante cantidad en las cenizas volcánicas de diversas regiones Chile, Costa Rica, Japón, Canarias, Italia, Argentina entre otras. Los análisis realizados en las cenizas de la actual erupción del volcán Peteroa (setiembre de 2010) arrojan una concentración de Zn de 600 ppm (CNEA). En el análisis de elementos traza por fluorescencia de rayos x en muestras de depósitos próximos a los volcanes Peteroa y El Planchón [22] encuentran concentraciones de Zn de 578,8 ppm para depósitos del siglo XX notando que en depósitos datados con C14 en 7030 AP la concentración de Zn alcanza a 2534,5 ppm. Por otra parte muestras de depósitos geológicos y arqueológicos con fuente de origen posible en el volcán Quizapu contienen una concentración de Zn medido por fluorescencia de rayos x de 578,8 ppm en depósitos correspondientes al siglo XX mientras que en depósitos correspondientes a la erupción de 1932 encuentran concentraciones que oscilan entre 191,5 ppm en Loncoche (piedemonte oriental), 205,6 ppm en El Tapad-eral (cuenca alta del río Grande) y 362,3 en Cerro Trapal (Laguna de Llanquanelo) [22]. Además en el trabajo de estos autores las muestras de depósitos próximos al Complejo Volcánico Laguna del Maule contienen concentraciones de Zn mucho menores con un rango que va de 59,8 a 87,1 ppm. Se ha utilizado al contenido de Zn en líquenes como Biomonitores de contaminación ambiental producida por las fumarolas de volcanes en la Isla de Vulcano (Italia), debido al contenido del mismo en las fumarolas y la forma de precipitar cuando se enfría [23 y 24]. La preocupación en Biorremediar suelos volcánicos no solo pasa por la captación de metales contaminantes sino por mejorar la biodisponibilidad tanto de micronutrientes como el Zn y el Mg y mejorar la captación de macronutrientes como el P y el N, en este sentido el uso de *Glomus intraradices* es muy importante ya que actúa también como biofertilizante.

Nuestro objetivo general es investigar la simbiosis entre *Helianthus annuus* y *Glomus intraradices* para la captación y tolerancia de metales pesados como estrategia de fitoremediación, para ello se trabaja en 2 etapas. Etapa : 1 Estudiar la captación de Zn en *Helianthus annuus* en hidroponía y la captación de Zn en *Glomus intraradices* en medio de cultivo. Etapa 2: captación de Zn en suelos volcánicos de la simbiosis *Helianthus annuus* y *Glomus intraradices*.

En este trabajo se concluye la etapa 1. Para esta primera etapa nuestra primera hipótesis fue considerar que el *Helianthus annuus* es una planta hiperacumuladora de Zn fundamentalmente a nivel radicular. Nuestra segunda hipótesis fue considerar que el uso de los cultivos In Vitro de HMA con raíces transformadas, permite el estudio del efecto del Zn sobre el desarrollo y morfología del micelio extra-radical luego del establecimiento de la simbiosis micorrízica arbuscular. Por último nuestra tercera hipótesis fue considerar que la microscopía de barrido y microanálisis es un método que puede utilizarse en la detección y ubicación morfológica del Zn tanto en *Glomus intraradices* como en *Helianthus annuus*.

METODOLOGÍA

Experimento 1

En este trabajo se realizaron experimentos en hidroponía para determinar el efecto del Zn en el crecimiento del girasol (*Helianthus annuus*).

Se hicieron crecer las plántulas en: a) solución nutritiva de Hoagland sin Zn (control); b) solución nutritiva con 100 ppm Zn; c) solución nutritiva con 1000 ppm Zn; d) solución nutritiva con 2000 ppm Zn.

El ensayo se desarrollo con una temperatura de 20 ± 2 °C , con una exposición luz:oscuridad de 10:14 hs

Las plántulas fueron retiradas de la hidroponía cuando alcanzaron el estadio de 6 hojas y puestas a secar a temperatura ambiente.

Se determinó el Zn por el método de absorción atómica en raíces y parte aérea.

Se calcularon los coeficientes de bioacumulación radicular (FBR) y en parte aérea (FBA), también el coeficiente de traslocación. Los signos de marchitamiento que se tuvieron en cuenta incluyeron: deterioro en hojas, pérdida de turgencia, masa radicular y masa de parte aérea. Se cuantificaron con una escala de 1 a 3 cruces.

Se determinó el porcentaje de materia seca y de humedad de las plántulas.

Experimento 2

La cepa GA5 de *Glomus intraradices* fue aportada por el Banco de Glomeromycota In Vitro (BGIV, www.bgiv.com.ar). El hongo micorrízico arbuscular (HMA) se propagó y estableció la simbiosis en asociación a raíces transformadas de zanahoria creciendo en Medio Mínimo en oscuridad a 25°C durante 4 meses (el MM contiene sales, vitaminas y sacarosa para el desarrollo de las raíces).

Para esta experiencia, se utilizaron cajas de Petri bi-compartmentalizadas. De un lado crecieron las raíces transformadas y el HMA en medio MM solidificado con 0,3% de Gel Gro (compartimento radical, CR), y en el otro compartimento (compartimento hifal, CH), se permitió el paso de las hifas y su expansión en contacto con las distintas concentraciones de Zn (200ppm, 1000ppm, y 2000ppm), en medio semilíquido y sólido (0,15% y 0,3% de Gel Gro, respectivamente). Se confeccionaron 5 réplicas por tratamiento, siendo el control, 0ppm de Zn. Para iniciar los cultivos, en el CR se inocularon dos fragmentos de raíces transformadas activas de aprox. 6 cm, y el inóculo de *Glomus intraradices*, el cual consistió en un cubo de 1cm³ de un cultivo previo, conteniendo esporas, micelio y fragmentos de raíces transformadas colonizadas. Las placas se incubaron durante 14 semanas en oscuridad a 25°C.

Al cabo de ese tiempo, se observó el crecimiento de los cultivos con las distintas concentraciones. Además, para los estudios de microscopía de barrido y microanálisis, se disolvió el medio en ambos compartimentos, separando el micelio extra-radical expuesto al Zn del CH, y las raíces y micelio creciendo en el CR, para verificar si hubo o no translocación del Zn por parte del micelio del CH hacia las raíces hospedantes.

Experimento 3

Se realizaron preparados de : a) micelio; b) mielio + raíces; c) raíces de *Helianthus annuus* sin Zn; d) raíces de *Helianthus annuus* con Zn; e) hojas de *Helianthus annuus* sin Zn; f) hojas de *Helianthus annuus* con Zn.

Las fijaciones para a) y b) se hicieron con glutaraldehído.2,5 %

Las fijaciones para c), d), e) y f) se hicieron con glutaraldehído 2,5 % y paraformaldehído 2,5 %

El buffer utilizado fue PBS.

Las deshidrataciones se realizaron con acetona 50 %, 70 %, 90 % y 100 %

Se realizaron tratamientos con C y con Au.

RESULTADOS Experimento 1

En las condiciones del experimento la germinación se completó entre 10 y 15 días (Figura 1)

Figura 1. Germinación del *Helianthus annuus* y crecimiento en solución de Hoagland.



Cuando las plántulas alcanzaron el desarrollo de cotiledones fueron puestas en solución nutritiva de Hoagland (Figura 2). Cuando las plántulas alcanzaron el estadio de 4 hojas fueron retiradas de la solución y puestas a secar para su análisis por absorción atómica. Los signos de marchitamiento registrados fueron: pérdida de turgencia y pérdida de masa radicular (Figura 3)

Figura 3. Signos de marchitamiento: pérdida de turgencia (izq.) y de masa radicular (der).



En la Tabla I se registran los resultados de la concentración de Zn medidos por absorción atómica. El peso de las plántulas húmedas y las plántulas secadas a temperatura ambiente se fue determinando diariamente observándose que en las condiciones de temperatura y humedad del ensayo a las 48 hs de secado ya no se perdía más peso. El porcentaje de humedad de las plántulas fue del 92,93 %.

Tabla I. Cálculo de los coeficientes de bioacumulación y concentraciones de Zn medidas por absorción atómica en raíz y parte aérea de cada uno de los tratamientos realizados.

| Concentración de Zn (ppm) | Signos de marchitamiento | Absorción Atómica (ppm MS) | | Coeficientes de Bioacumulación | | |
|---------------------------|--------------------------|----------------------------|-----------|----------------------------------|------------------------------|----------------------|
| | | Radicular | Aérea | Bioconcentración Radicular (FBR) | Bioconcentración Aérea (FBA) | Traslocación FBR/FBA |
| 0 | (-) | 177,67 | 177,67 | | | |
| 100 | (-) | 4995,47 | 717,45 | 49,9 | 7,2 | 7 |
| 1000 | (+) | 55.550,63 | 13.457,03 | 55,5 | 13,4 | 4 |
| 2000 | (+++) | | | | | |

% Humedad de las plántulas: 92,93

Los cálculos de los coeficientes de Bioacumulación se realizaron de la siguiente manera:
 Factor de bioconcentración en raíz (FBR)=concentración del metal en raíz (ppm) /concentración del metal en la solución (ppm)

Factor de bioconcentración en tallo (FBT)= concentración del metal en tallo (ppm)/ concentración del metal en la solución (ppm)

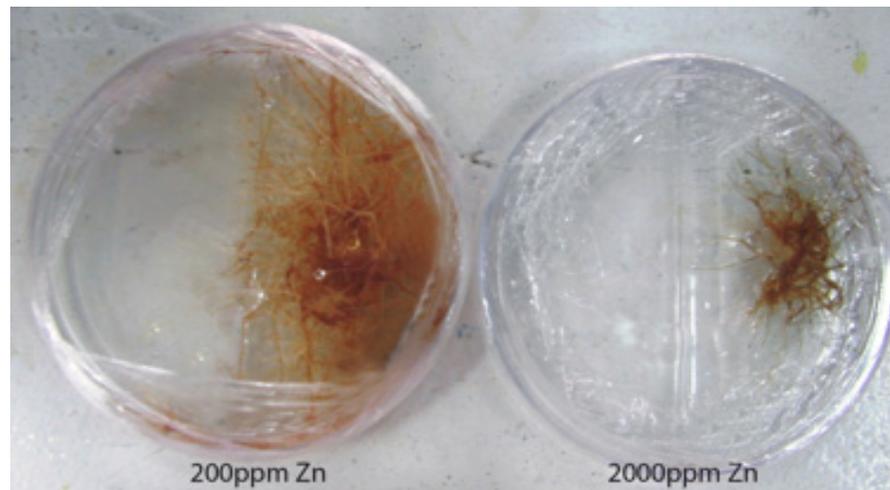
RESULTADOS Experimento 2

Luego de 14 semanas, los únicos cultivos que produjeron micelio y esporas dentro del CH fueron aquellos expuestos a la concentración de Zn más baja (200ppm de Zn) y el control, tanto en el medio sólido como en el semilíquido.

En los tratamientos de 1000ppm y 2000ppm de Zn, el micelio desarrollado en el CR detuvo su crecimiento, luego de pasar hacia el CH y entrar en contacto con la solución de Zn. En dichos tratamientos de Zn, dentro del CR, el HMA completó su ciclo de vida, formando abundante micelio y esporas, sin encontrar diferencias comparando con el control.

En los cultivos semilíquidos, se observó un detenimiento del crecimiento de la raíz y el micelio extra-radical de *G. intraradices*, cuando ambos entraban en contacto con las soluciones concentradas de 1000ppm y 2000ppm de Zn (Figura.4).

Figura.4 Cultivos In Vitro de *Glomus intraradices* asociado a raíces transformadas de zanahoria creciendo en cajas de Petri bi-compartimentalizadas luego de 14 semanas. El lado sin raíces contenía las soluciones con las distintas concentraciones de Zn. CR: Compartimento radical; CH: Compartimento hifal.

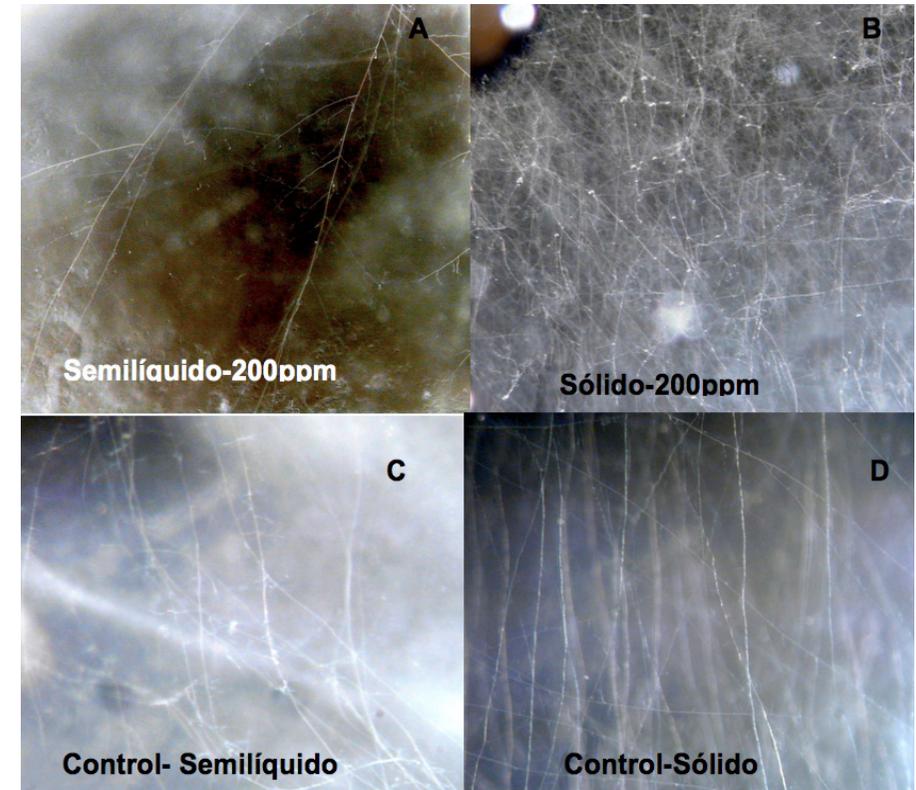


Se observaron diferencias en la morfología y producción de micelio extra-radical del hongo simbiote bajo los distintos tratamientos.

En los medios sólidos, el micelio extra-radical fue más abundante que en los medios semilíquidos, tanto en el tratamiento con Zn (Figura. 5 a y b) como en el control (Fig. c y d).

Se observó un mayor número de ramificaciones en la red de micelio, cuando el HMA crecía en contacto con la solución de 200ppm de Zn en medio sólido, en comparación con los cultivos sin Zn (Figura. 5 b y d). En el tratamiento de 200ppm, tanto en medio sólido como en el semilíquido, se observó una inhibición en la esporulación del HMA cuando el micelio se encontraba inmerso en la solución de Zn en el CH, ya que del lado del CR, la esporulación fue normal y abundante como en el control.

Figura 5 Desarrollo del micelio extra-radical de *Glomus intraradices* en ausencia de raíces, creciendo bajo distintas condiciones In Vitro. (A) Hifas desarrolladas en medio semilíquido en contacto con 200ppm de Zn; (B) Red de micelio con numerosas ramificaciones producidas en medio sólido con 200ppm de Zn; Micelio del HMA creciendo en medio semilíquido (C) y sólido (D) en ausencia de Zn.



RESULTADOS Experimento 3

Se observaron las muestras con el microscopio de barrido y se determinó la presencia o ausencia de Zn mediante EDS tanto en las muestras tratadas con C como en las metalizadas con Au. La cantidad de Au fue mucho menor en la metalización de las muestras que tenían Zn en comparación con las que no tenían. Se pudieron observar claramente los lugares de acumulación del Zn en hojas y raíces de *Helianthus annuus*, observándose una marcada concentración en tricomas foliares y nódulos de ramificación de raíces.

Figura 6. Hoja fijada y tratada con C (izquierda), tratada con Au (centro) y tricomas y estomas a mayor aumento en *Helianthus annuus* con Zn

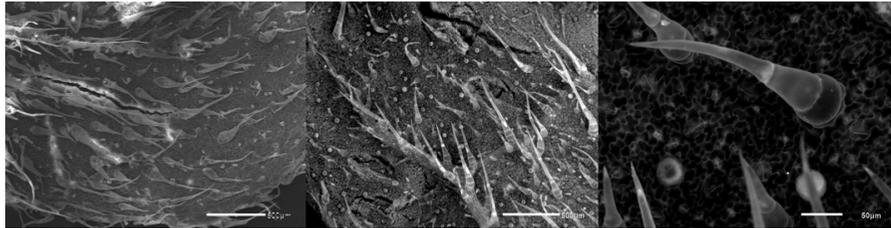


Figura 7. Tricomas de hojas de *Helianthus annuus* sin Zn, a distintos aumentos.

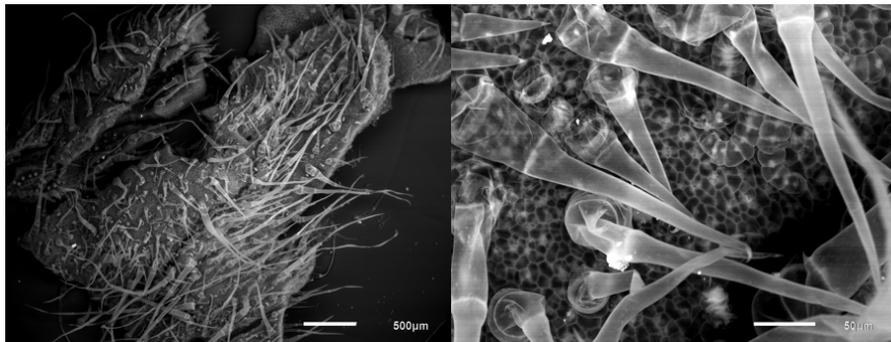


Figura 8 Raíces de *Helianthus annuus* con Zn, a distintos aumentos. El microanálisis (EDS) mostró las zonas donde se depositó preferentemente el Zn tanto en hojas como en raíces.

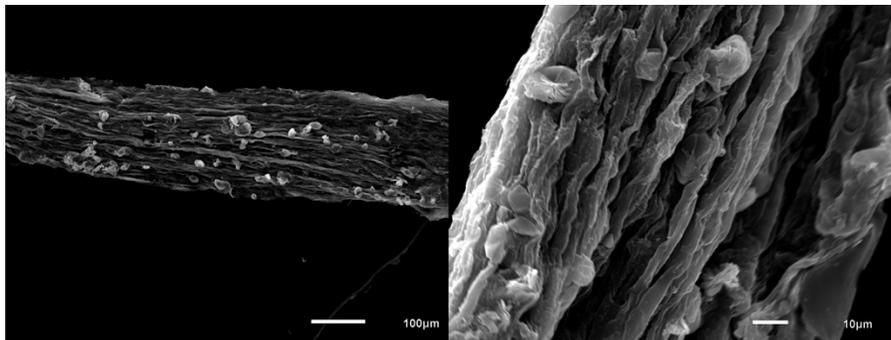


Figura 8. Tricomas de *Helianthus annuus* con Zn, EDS imagen de distribución del Zn en los tricomas y espectro de detección de Zn en muestras tratadas con Au.

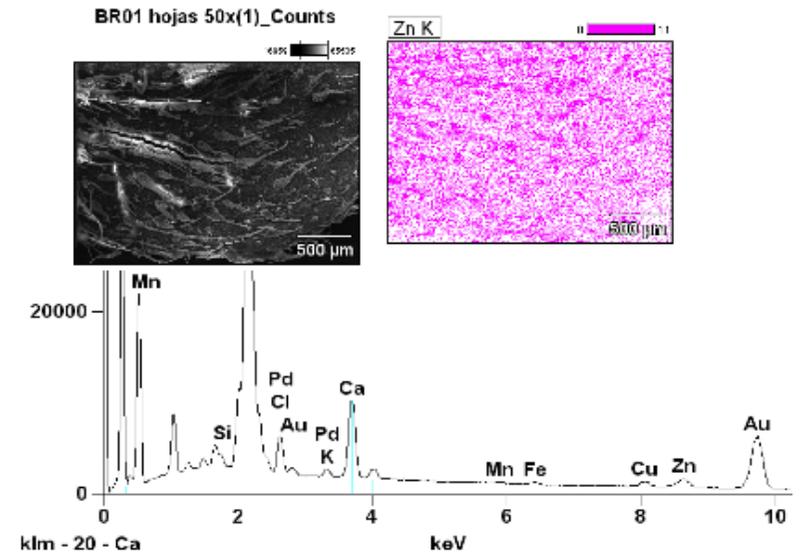


Figura 9. Tricomas de *Helianthus annuus* con Zn, EDS imagen de distribución del Zn en los tricomas y espectro de detección de Zn en muestras tratadas con Au, a mayor aumento

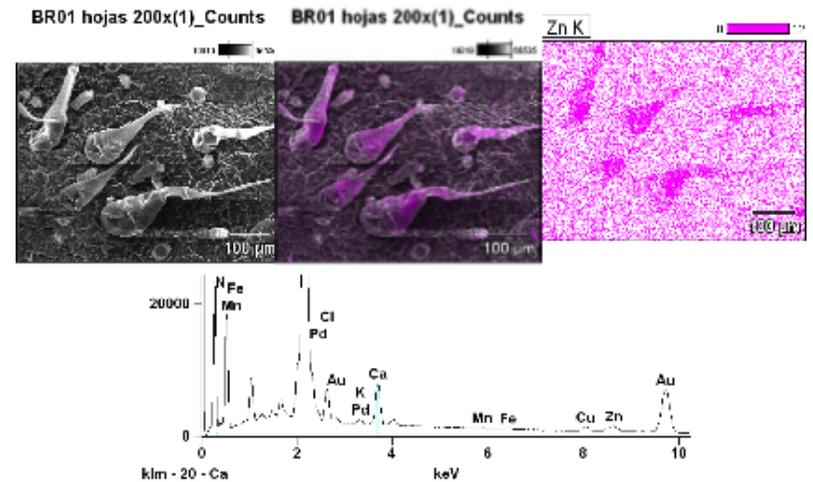


Figura 10. Tricomas de *Helianthus annuus* con Zn, EDS imagen de distribución del Zn en los tricomas y espectro de detección de Zn en muestras tratadas con C

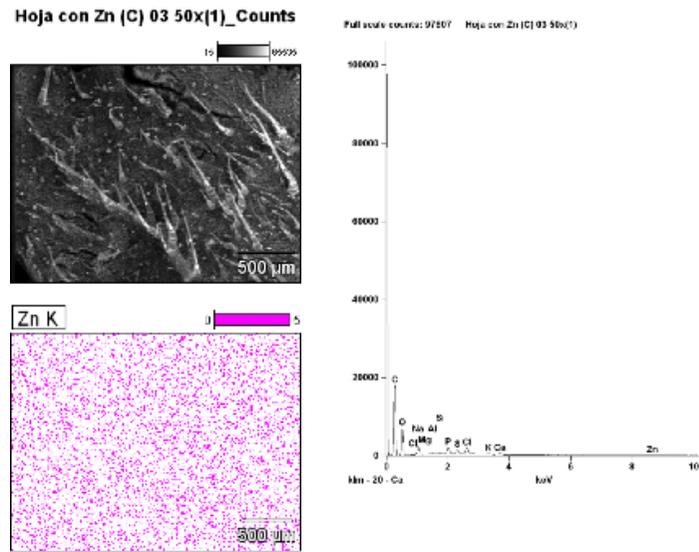


Figura 12. Microanálisis de Tricomas de *Helianthus annuus* sin Zn, y espectro de detección de Zn en muestras tratadas con C, a mayor aumento

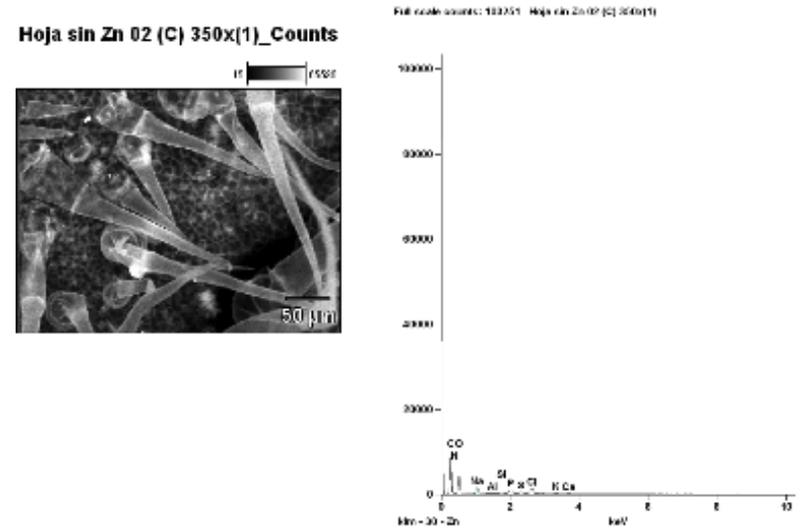


Figura 11. Microanálisis de Tricomas de *Helianthus annuus* sin Zn, y espectro de detección de Zn en muestras tratadas con C

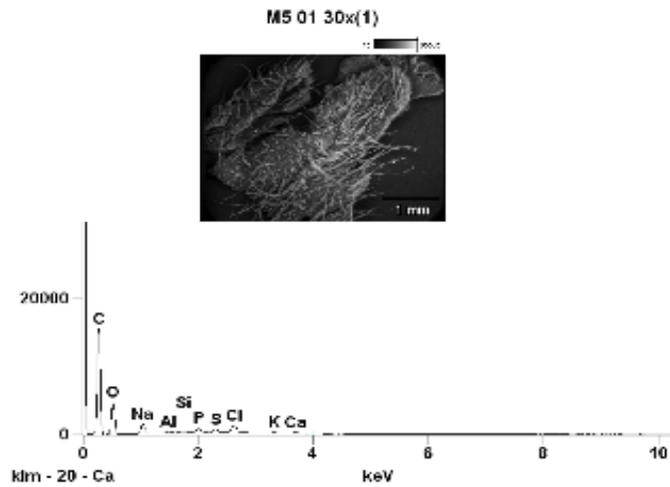


Figura 13. Microanálisis de raíces de *Helianthus annuus* con Zn, y espectro de detección de Zn en muestras tratadas con Au

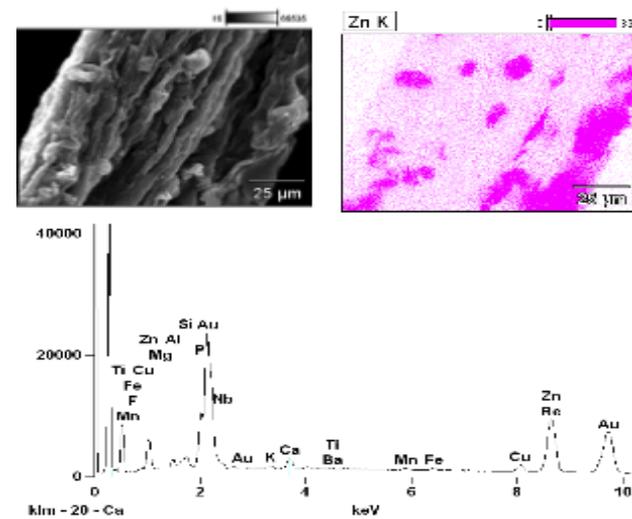


Figura 14. Microanálisis de raíces de *Helianthus annuus* con Zn, y espectro de detección de Zn en muestras tratadas con Au a menor aumento.

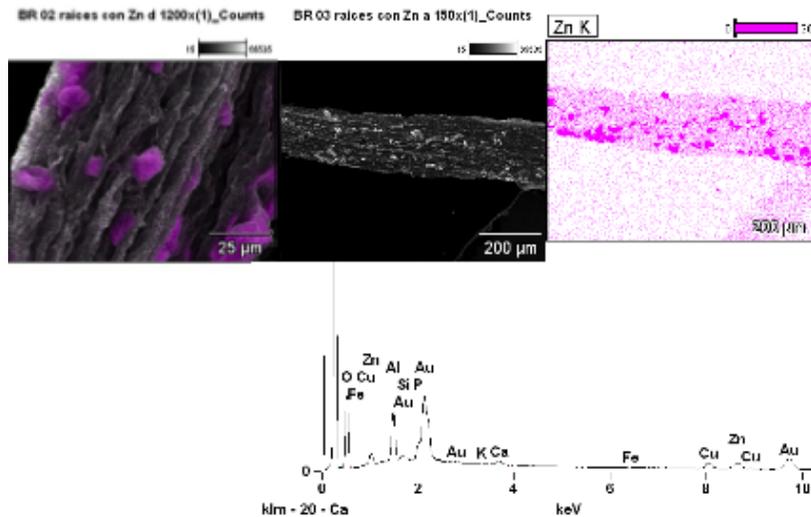
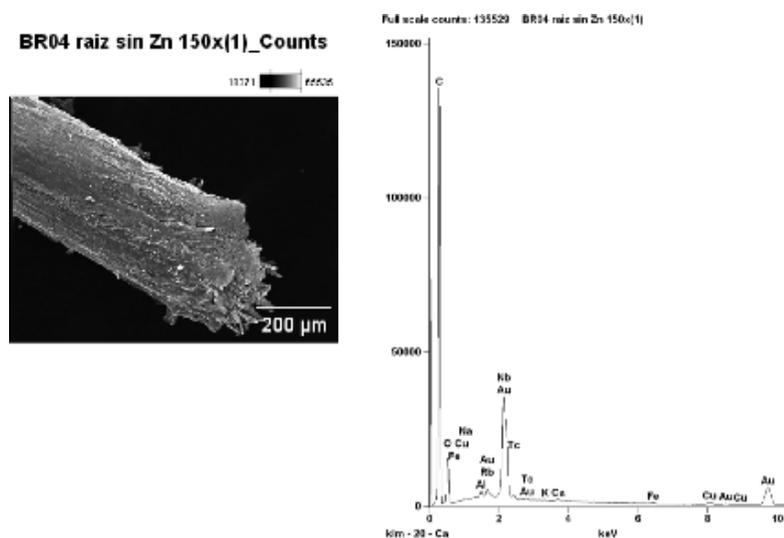


Figura 15. Microanálisis de raíces de *Helianthus annuus* sin Zn, y espectro de detección de Zn en muestras tratadas con Au a menor aumento.



DISCUSIÓN

Los FBR tanto de la solución de 100 ppm de Zn como de 1000 ppm son aproximadamente iguales 49,9 y 55,5 mientras que los FBA varían considerablemente en las soluciones mencionadas, de 7,2 a 13,4. Esto podría estar indicando que pasando un cierto valor de concentración radicular aumenta el coeficiente de traslocación y aumenta el FBA.

El crecimiento en la solución de 2000 ppm no pudo completarse. Los signos de marchitamiento registrados se observan en la Figura 4.

La traslocación del Zn desde la raíz a la parte aérea aumentó muy significativamente en la solución de concentración de 1000 ppm en comparación con la solución de 100 ppm, siendo el coeficiente de traslocación medido como FBR/FBA de 4 para la primera y 7 para la segunda (Tabla I)

El uso de los cultivos In Vitro de HMA con raíces transformadas, permitió el estudio del efecto del Zn sobre el desarrollo y morfología del micelio extra-radical luego del establecimiento de la simbiosis micorrizica arbuscular.

La cepa GA5 de *G. intraradices* cultivada In Vitro, resultó ser tolerante a las bajas concentraciones de Zn, ya que el micelio se expandió y cubrió todo el compartimento hifal, desarrollando unas pocas esporas al final del ciclo. Sin embargo, hubo modificaciones en la cantidad de micelio y esporas producidas, observando un incremento en las ramificaciones cuando el HMA crecía en la solución de Zn en medio sólido, y una inhibición en el número de esporas desarrolladas en medio sólido y semilíquido. Pawlowska y Charvat [14] también observaron una inhibición en la formación de esporas de *G. intraradices* del lado del compartimento hifal, cuando el micelio estaba expuesto a una concentración de 1mM Zn, bajo condiciones In Vitro.

El crecimiento de la cepa se vio afectado frente a la exposición de altas concentraciones de Zn. Por ejemplo, a una concentración de 1000 y 2000ppm se produjo un detenimiento en la expansión del micelio extra-radical cuando entraba en contacto con dichas soluciones. Sin embargo, ese contacto hifal con el Zn, no causó ningún efecto sobre el micelio ya producido ni en el desarrollo de las esporas al final del ciclo en el compartimento radical. Este mismo efecto fue observado por Pawlowska y Charvat [14], quienes hipotizan que la localización de efectos negativos sobre el micelio extra-

radical y esporulación de *G. intraradices* en el compartimento hifal, acompañado por la ausencia de tales efectos en el compartimento radical, estaría indicando que la cepa, sensible a los metales, podría ser capaz de sobrevivir y propagarse en ambientes contaminados, al explorar micrositos del suelo menos contaminados. En nuestro trabajo, el efecto negativo observado sobre la expansión del micelio del HMA, podría deberse a que esta cepa no sería tolerante a las altas concentraciones de metales. La cepa GA5 de *G. intraradices* proviene de un ambiente natural de la quebrada de San Lorenzo, Salta. Por lo tanto, más estudios deben realizarse utilizando cepas adaptadas a ambientes contaminados por metales pesados, con fin de utilizarse en los procesos de bioremediación.

Los resultados del ensayo con SEM-EDS muestran una diferencia en la frecuencia de tricomas y estomas en las hojas de *Helianthus annuus* con y sin Zn, siendo menor en las hojas sin Zn, esto se contrapone a los estudios de Singh Shraddha y Sinha Sarita [25] donde encuentran un aumento del número de tricomas y estomas, en girasol expuesto a suelos con lodos de curtiembres, pero esta adaptación en la frecuencia y morfología de estructuras epidérmicas especializadas como los tricomas fueron puestas de manifiesto en los trabajos de Kang et al 2010 [26], ellos notan cambios en la química de los tricomas glandulares de tomate que se expresa como un cambio en la frecuencia, morfología y fisiología de los mismos tricomas. En las Figuras 6, 7, 9, 10, 11 y 12 se puede observar que para las condiciones de este ensayo el número de tricomas disminuyó en las hojas con Zn como también puede apreciarse un cambio en su morfología. También se pudo observar la clara distribución del Zn tanto en los tricomas foliares como en los nódulos de las ramificaciones radiculares (Figuras 9, 13 y 14). Hay pocos trabajos al respecto y es necesario continuar con las investigaciones.

CONCLUSIONES

Se pudieron comprobar nuestras hipótesis. Se verificó el comportamiento hiperacumulador del *Helianthus annuus*. En las condiciones del experimento 1 se encontró que principalmente la acumulación es mayor a nivel radicular para el Zn. El porcentaje de traslocación de Zn a la parte aérea pareciera que depende de la saturación de un cierto umbral en la parte radicular, que en nuestro trabajo osciló entre un FBR de 49,9 y un FBR de 55,5 para las soluciones de 100 ppm y 1000 ppm en Zn respectivamente, mientras que los FBA varían considerablemente en las soluciones mencionadas, de 7,2 a 13,4. Esto podría estar indicando que pasando un cierto valor de concentración radicular aumenta el coeficiente de traslocación y aumenta el FBA, es necesario hacer más estudios al respecto.

El uso de los cultivos In Vitro de HMA con raíces transformadas fue un método eficaz en el estudio del efecto del Zn sobre el desarrollo y morfología del micelio extra-radical luego del establecimiento de la simbiosis micorrízica arbuscular. La cepa GA5 de *G. intraradices* cultivada In Vitro, resultó ser tolerante a las bajas concentraciones de Zn, ya que el micelio se expandió y cubrió todo el compartimento hifal, desarrollando unas pocas esporas al final del ciclo. El contacto hifal con el Zn, no causó ningún efecto sobre el micelio ya producido ni en el desarrollo de las esporas en el compartimento radical, a pesar de haber contactado altas concentraciones de Zn.

La técnica de fijación tanto de *Glomus intraradices* como del *Helianthus annuus* fue estandarizada para la exploración con microscopía de barrido. El microanálisis fue muy satisfactorio en la detección de Zn en *Helianthus annuus*, pudiéndose observar la presencia o ausencia de Zn en las muestras e identificar exactamente el sitio de acumulación de Zn tanto en tricomas de hojas como en nódulos de radiculares. Se observa también la diferencia en la frecuencia y distribución de tricomas, estomas y nódulos radiculares en las muestras con Zn y sin Zn. También se observó un cambio en la morfología de tricomas foliares.

La identificación de los sitios de acumulación de los metales pesados en *Helianthus annuus* detectados mediante SEM-EDS permite utilizar esta metodología en el campo de las investigaciones de Biorremediación y en la aplicación práctica en el campo de los Biomonitores de contaminación ambiental. La precisa localización del Zn en *H. annuus* y la alta sensibilidad del método permite considerar al Zn como un Biomonitor de concentraciones contaminantes de Zn, es necesarios realizar más investigaciones al respecto.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Kabata Pendias, A. S., y Pendias, H. 2000. Trace elements in soils and plants. CRC Press, An. Arbor, Michigan 432.
- [2] Mahler, R.L. 2003. General overview of nutrition for field and container crops. In: Riley, L. E.;Dumroese, R. K.; Landis, T. D. Tech Coords. National Proceeding: Forest and Conservation Nursery Associations. 2003 June 9-12; Coeur d'Alene, ID; and 2003 July 14-17; Springfield, IL. Proc. RMRS-P-33
- [3] Prieto Méndez, J.,González Ramírez, C., Román Gutiérrez, A.and Prieto García, F. 2009. Plant contamination and phytotoxicity due to heavy metals from soil and water. Tropical and Subtropical Agroecosystems, 10: 29 - 44
- [4] Pineda, H.R. 2004. Presencia de Hongos Micorrízicos Arbusculares y Contribución de Glomus Intraradices en la Absorción y Translocación de Cinc y Cobre en Girasol (*Helianthus Annuus* L.) Crecido en un Suelo Contaminado con Residuos de Mina. Tesis para Obtener el Grado de Doctor en Ciencias Universidad de Colima. Tecoman, Colima
- [5] Robinson, B.H., Chiarucci, A., Brooks, R.R., Petit, D., Kirkman, J.H. and Gregg, P.E.H. 1997. The nickel hyperaccumulator plant *Alyssum bertolonii* as a potential agent for phytoremediation and phytomining of nickel. *Journal Geochemical Exploration*, 59, 75-86.
- [6] Davies, F.T., Puryear, J.D., Newton, R.J., Egilla, J.N., Saraiva Grossi J.A. 2002. Mycorrhizal fungi increase chromium uptake by sunflower plants: influence on tissue mineral concentration, growth, and gas exchange. *J Plant Nutr* 25:2389–2407
- [7] Kastori, P., Petrovic, N., Petrovic, M. 1996. Effects of lead on water relations, proline concentration and nitrate reductase activity in sunflower plants. *Acta Agron Hungar* 44:21–28
- [8] Saber, N.E., Abdel-Moneim, A.M., Barakat, S.Y. 1999. Role of organic acids in sunflower tolerance to heavy metals. *Biol Planta* 42:65–73
- [9] Turgut, C., Pepe, M.K., Cutright, T.J. 2004. The effect of EDTA and citric acid on phytoremediation of Cd, Cr, and Ni from soil using *Helianthus annuus*. *Environ Pollut* 131:147–154
- [10] Ximénez-Embún, P., Alonso, I., Madrid-Albarrán,Y., Cámara, C. 2004. Establishment of selenium uptake and species distribution in lupine, Indian mustard, and sunflower plants. *J Agric Food Chem* 52:832–838
- [11] Zornoza, P., Robles, S., Martin, N., 1999. Alleviation of nickel toxicity by ammonium supply to sunflower. *Plant Soil* 208:221–226
- [12] Dushenkov, S. 2003. Trends in phytoremediation of radionuclides. *Plant and Soil* 249:1467-175.
- [13] Gildon, A., Tinker, P.B. 1983. Interactions of vesicular–arbuscular mycorrhizal infection and heavy metals in plants: the effects of heavy metals on the development of vesicular–arbuscular mycorrhizae. *New Phytol* 95:147–161
- [14] Pawloska, T.E., Charvat, I. 2004. Heavy-metal stress and development patterns of arbuscular mycorrhizal fungi. *Applied and Environment Microbiology* 70: 6643-6649
- [15] Ker, K. & Charest, C. 2010. Nickel remediation by AM-colonized sunflower. *Mycorrhiza* 20:399–406
- [16] Bhatia, N.P., Walsh, K.B., Baker, A.J.M. 2005. Detection and quantification of ligands involved in nickel detoxification in a herbaceous Ni hyperaccumulator *Stackhousia tryonii* Bailey. *J Exper Bot* 56:1343–1349
- [17] Krämer, U., Pickering, I.J., Prince, R.C., Raskin, I., Salt, D.E. 2000. Subcellular localization and speciation of nickel in hyperaccumulator and non-hyperaccumulator *Thlaspi* species. *Plant Physiol* 122:1343–1353
- [18] Cunningham, S. D., y 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.
- [19] Reeves, R. 2003. Tropical hyperaccumulators of metals and their potential for phytoextraction. *Plant and Soil* 249: 57-65.
- [20] Baker, A.J.M., and Walker, P.L. 1997. Ecophysiology of Metal Uptake by Tolerant Plants. In *Heavy Metal Tolerance in Plants: Evolutionary Aspects*. 155-177.
- [21] Audet, P., Charest, C. 2006. Effects of AM colonization on 'wild tobacco' plants grown in zinc-contaminated soil. *Mycorrhiza* 16:277–283
- [22] Durán, V y Mikkan, R.2009. Impacto del volcanismo holocénico sobre el poblamiento humano del sur de Mendoza (Argentina). *Intersecciones en Antropología* 10: 295-310.
- [23] Cheynet, B., Dall'Aglio, M., Garavelli, A., Grasso, M., and Vurro, F. 2000. Trace elements from fumaroles at Vulcano Island (Italy): rates of transport and a thermochemical model. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 95: 273-283
- [24] Dongarrà, G. and Varrica, D. 1998.The presence of heavy metals in air particulate at Vulcano island (Italy) *The Science of The Total Environment* 212:1-9
- [25] Singh, S.; Sinha, S. 2004. Scanning electron microscopic studies and growth response of the plants of *Helianthus annuus* L. grown on tannery sludge amended soil. *Environment international* 30: 389-395

Biochemical indicators of nutritional status and its relation with feed intake in lactating cows fed on natural pastures of the plain of Mendoza

Scotti, A. (1), Stasi, C.R. (3),
Camiz, S. (2), Visciglia, S. (3),
Guevara, J.C. (3), Visciglia, M (3).

1 International Center for Earth Sciences- ICB-Universidad Nacional de Cuyo

2 Università di Roma La Sapienza Dipartimento di Matematica "Guido Castelnuovo"

3 IADIZA CCT Mendoza

adalgisascotti@icesmalargue.org

SUMMARY

In the livestock production in arid and semiarid systems the rangelands are used for cow-calf operations. It is difficult to estimate the quality of the ingested forage and often management decisions must be taken without suitable information. In this paper biochemical parameters were analyzed in the lactation period of Aberdeen Angus cows feeding in rangelands in the dry season (April to September) and in the first month of the wet season (October). These parameters were related to ingestion estimators based on the botanical composition of the diets and the available forage. It was found that the behavior of the biochemical parameters was related to the forage ingested and the botanical composition of diets during the dry season or in the mentioned month of the wet season. Relations were found between the tested metabolites that permit an estimate of the nutritional state of the cows of the rangelands on the plains of Mendoza. The most representative indicators of the nutritional condition that also had high sensitivity were selected: Ur/Cr and Ur/Lec and it was found that the relationship Ur/Cr was highly sensitive and that other indicators were as well significant.

INTRODUCTION

The cow-calf operations in the arid zones are restricted to the use of rangelands [1, 2]. It is difficult to estimate the quality of forage ingested and often management decisions must be made without access to the adequate information. Nutritional indicators can be used for evaluating the diets adequacy. The studies on the ruminant nutrition in the arid zone production systems are limited [3, 4]. On the other hand if we consider that during the cow lactation the food requirements are high, it is important to determine in this stage the nutritional status and the forage ingestion through the evaluation of biochemical measurements.

The plant communities in the study areas are very complex and the estimation of the forage available through the traditional methods is very difficult. For this reason, the data based on other estimation methods deserve a relevant attention .

Among the forage resources present in the Mendoza plain, the shrubs are very important because they constitute about 50% of the cattle diet in the dry season (April-September). The most important species in diets are *Hyalis argentea* D. Don ex Hook. & Arn. var. *latisquama* (29% of the diet) and *Capparis atamisquea* Kuntze (11%). The shrubs crude protein (CP) content is higher than that of grasses available all year. On the other hand, the highest CP contents occurs during the rainy season (shrubs:12.1-14.3%; grasses: 7.0-8.0%).

The studies carried out in other areas of the world suggest that inadequate levels of CP and/or energy for meeting the cattle nutritional requirements occur frequently in range-lands. For the Mendoza plain it was found that the levels of CP and energy of the main perennial grasses could permit a cow-calf operation without limitation. However the parturition must take place in November or December and the forage availability must permit a selective use [5].

In this paper, several biochemical metabolites related to the cow's nutritional state were measured. The urea parameter in milk and urine is considered a good indicator of the protein metabolism in ruminants [6, 7, 8, 9]. In humans, an inverse relationship between the protein ingestion and the calciuria has been registered, provided that the osseous

metabolism be related with factors such as the protein ingestion and the physical activity [10, 11]. The metabolism of the purine derivatives is related with the microbial protein synthesis [6, 12, 13, 14].

In both [15] and [16, 17, 18, 19, 20, 21, 22] the index Ur/Cr in urine is related with catabolism indicators such as loss of muscular mass and 3-methylhistidine/creatinine, and these authors found a strong correlation among them ($R^2 = 0,52$ and $R^2 = 0,89$, respectively). On the other hand, these authors also determined a relation between loss of muscular mass and 3-methylhistidine ($R^2=0,82$) using a curvilinear function. The 3-methylhistidine originates from actin and the myosin of the skeletal muscle and its presence in urine is considered an indicator of muscular degradation. A severe reserve depletion, increases of cortisol and of concentration of calcium in blood, and a decrease of thyroid hormone were also observed [23]. These authors compared the values of Ur/Cr with glucuronic acid/creatinine in urine as an indicator of low ingesta quality. According to the model developed by these authors, at first there were an increase of urea in blood as a consequence of the catabolism increase but this increase was compensated by a decrease of the urea recycle and as a consequence there was an increase of the urea urinary excretion. About half of the excreted nitrogen derived from the urea recycle when the protein catabolism was major and the corporal fat considerably decreased [23]. The urea recycle was negatively correlated with the dietary nitrogen and when there was a negative energy balance, the increase of uric nitrogen in blood decreased the urea recycle. The volume of excreted urine showed changes during the day: this variation was associated to the feed regime [24]. Although the urea excretion varied with the urine volume, the temperature, the time of day, and the protein ingested, the creatinine concentration was stable between 8.00 am and 08.00 pm and when the excretion was constant [25].

Ur/Cr variations reduce among cows with different protein levels and during sample hours in relation to the diuresis effects [26]. Studies carried out in both humans and diverse animal species have demonstrated that the excretion coefficient of various electrolytes is weak during the night. Due to the plasma concentration of several of the studied substances, differences between day and night were not detected. As a general tendency, the urea and creatinine values were higher during the day than during the night [26]. The study of Céspedes and Honorato [25], carried out for determining the effectiveness of the Ur/Cr as an indicator of the efficiency of the use of nitrogen, con-

cluded that the Ur/Cr is more stable between 8:00 am and 8:00 pm.

Based on the above considerations, the following hypothesis is proposed: the behavior of the urinary parameters: Urea/creatinine (Ur/Cr), Ca (CaOr), Ca/creatinine (Ca/Cr), Uric acid (UriOr), Uric acid/creatinine (Uri/Cr), creatinine (CrOr), urea (UrOr) and urea in milk (UrLec) reflect the lactating cows nutritional status and are related to forage supply.

The purpose of this study is to provide data resulting from the parameter Ur/Cr as an indicator of the nutritional status and its relations with CaOr, Ca/Cr, UriOr, Uri/Cr, CrOr, UrOr, UrLec and forage supply during the dry season and October.

MATERIALS AND METHODS

Study site

The study was carried out on El Divisadero Cattle and Range Experimental Station (33° 45' S, 67° 41' W, elev. 520 m), in the North central Mendoza plain, mid-West of Argentina. Daily mean minimum and maximum temperatures ranged from -3.8° C to 15.6° C and 14.2° C to 33.0° C, respectively. Mean annual rainfall for the period 1987-2008 was 293.1 mm (S.D. = 112.8) with nearly 80% occurring during the growing season (October-March). Soils are Torripsamments with greater silt in interdunal depressions. The vegetation is an open xerophytic savanna and shrubland of *Prosopis flexuosa* DC. Eight warm-season perennial grasses dominate the herbaceous layer.

Trials

The study involved Aberdeen Angus (AA) lactating cows ($n = 30$) that feed on rangelands. Samples of urea, creatinine, calcium and uric acid from urine, and urea from milk were collected from the cows. These samples were taken monthly during seven months from April to October 2008.

Urine samples were obtained by spontaneous urination, then they were centrifuged, diluted 1:5 and subsequently were stored in propylene tubes that were kept at -20° C for a short period until analyzed. Milk samples were ultracentrifuged cold and then stored at -20° C. Periodically, live weight and body condition scores (BCS) were assessed on a 1-5 scale. The stocking rate was 25 ha AU-1. In June a vitamin-mineral complex was applied through intramuscular injection.

Biochemical analysis

The calcium determination was carried out through the colorimetric method based on the formation of an addition complex between the Cresolphthalein Complexone at pH 11 and the Calcium, giving a compound which was photometrically measured at 570 nm. Determinations of uric acid were based on the Kabasakalian method [27].

The test urea-nitrogen was a modification of an enzymatic procedure described by Talke and Schubert [49]. The creatinine was determined by the method of Jaffe modified by Folin [50]. All the analyses were subject to a quality control with two levels of biologic liquids, one low and one high. The quality control liquids were Lyphochek Assayed Chemistry Control.

Sample collection and conservation

The urine samples were collected through spontaneous urination and then were centrifuged, fractionated, diluted 1/5 and stored at -20°C . The milk samples were hard cold ultracentrifuged for separating the fat portion, and stored at -20°C .

Statistical analysis

The data table was submitted to multidimensional exploratory analysis, aiming to ascertain to what extent differences among the different months could be identified. Indeed, in addition to Principal Component Analysis (PCA) [28, 29, 30], Multiple Factor Analysis was employed (MFA) [31, 32], a three-way technique that allows the study of multiple data tables taken on the same units either on different occasions or concerning different characters. In this case, it was applied to different characters.

PCA aims at representing quantitative characters and units in geometrical spaces, whose reduced dimension is able to represent both while minimizing the information lost due to the dimensional reduction. Given a data table X , in which the rows are units and the columns are characters, this is obtained through its Singular Value Decomposition (SVD) [33], $X = UAV'$, where U and V are unit matrices identifying the searched geometrical transformation and Λ is a diagonal matrix whose (squared) elements quantify the dispersion of the units along the corresponding directions. Indeed, once the elements of Λ are sorted in descending order (as well as the corresponding columns of both U and V), the searched optimal reduced dimensional representations may be found by limiting attention to the first few largest elements of Λ [34], say by zeroing the

elements of Λ smaller than a freely-fixed threshold. The data analysis paradigm states that the most relevant information contained in the data tables corresponds to the first dimensions of this geometrical representation.

In the case, in which an indexed set of data tables X_1, X_2, \dots, X_t concerns the same units observed either on different occasions or according to different characters, it is customary to set them aside to compose a super-matrix $X = (X_1 | X_2 | \dots | X_t)$, whose PCA may be performed. Indeed, this could raise problems, due to the likely different correlation structure of the sub-tables X_i , that would emphasize the weight of those with a strongest structure and reduce the weight of those with a weaker one. A simple reweighing of the X_i with the inverse of the highest eigenvalue λ_i of the corresponding X_i , as it would result from the SVD of X_i would fix the problem. Thus, MFA is but the PCA of the super-matrix .

The MFA adds to the normal results of PCA some special feature specific for deepening the comprehension of the study at hand, be it explained either evolutionarily or by sets of characters of different kinds. Indeed, on the found geometrical spaces, all characters of all tables are represented, together with the principal components of the PCAs of the individual tables X_i . This shows the relations between these principal components and the ones of the super-matrix and, in the case of the evolutionary study, the evolution of both principal components and of the original characters along time. Then, in addition to the representation of the units according to the super-matrix, all partial representations of the units according to each individual table X_i are possible. This way, either the evolution of the units along time or the different views according to each character set may be represented.

The global representation given by the super-matrix is a kind of center (a centroid in geometrical terms) of the different views, a sort of compromise among the various representations. All these computations have been performed through the Spad.n [35] package. After the exploratory phase, some simple models were developed to show the main relations among the considered parameters. They were built by using Stepwise Multiple Regression [48], a technique that creates the best possible model obtainable by either entering or removing a variable according to the quality of improvement obtained in respect to the previous model with these operations. The regressions were performed with the Statistica 7 package [51].

RESULTS

Trial data analysis

The statistical parameters of the tested variables are described in Table 1, in Table 2 the correlation matrix of the biochemical parameters, referred to the 56 samples without missing data.

Table 1. Mean, minimum, maximum and standard deviation of the biochemical parameters of the lactating cows from April to October.

| | Valid N | Mean | Minimum | Maximum | Std.Dev. | Std Error |
|------------------|---------|----------|----------|----------|----------|-----------|
| Ca Or mg/l | 149 | 85,582 | 0,60000 | 1360,000 | 217,0080 | 17,77799 |
| Cr Or mg/l | 147 | 1216,542 | 71,60000 | 4386,100 | 921,4379 | 75,99892 |
| Ur Or g/l | 149 | 2,270 | 0,05000 | 7,480 | 2,4140 | 0,19776 |
| Uri Or mg/l | 63 | 78,178 | 2,04000 | 324,530 | 52,1677 | 6,57251 |
| Ur/Cr 1000 | 147 | 5,665 | 0,01140 | 27,217 | 8,0030 | 0,66007 |
| Body Cond.Cond.. | 68 | 2,419 | 1,75000 | 3,500 | 0,2879 | 0,03492 |
| Ca/Cr 100 | 147 | 5,634 | 0,22892 | 55,808 | 9,2714 | 0,76469 |
| Uri/Cr 100 | 63 | 11,185 | 1,38786 | 28,121 | 6,4831 | 0,81680 |
| Ur Lec g/l | 143 | 0,363 | 0,11000 | 1,010 | 0,1416 | 0,01185 |

Table 2. Correlation matrix of the biochemical parameters measured in lactating cows during the period April-October, based on N=56 samples. In red the correlations significant at 0.05 level.

| Variable | Ca Or mg/l | Cr Or mg/l | Ur Or g/l | Uri Or mg/l | Ur/Cr 1000 | Ca/Cr 100 | Uri/Cr 100 | Ur Lec g/l |
|-------------|------------|------------|-----------|-------------|------------|-----------|------------|------------|
| Ca Or mg/l | 1,00 | 0,45 | -0,16 | 0,65 | -0,21 | 0,79 | -0,04 | -0,19 |
| Cr Or mg/l | 0,45 | 1,00 | -0,40 | 0,56 | -0,62 | 0,08 | -0,47 | -0,29 |
| Ur Or g/l | -0,16 | -0,40 | 1,00 | -0,15 | 0,67 | -0,14 | 0,23 | -0,22 |
| Uri Or mg/l | 0,65 | 0,56 | -0,15 | 1,00 | -0,50 | 0,28 | 0,30 | -0,17 |
| Ur/Cr 1000 | -0,21 | -0,62 | 0,67 | -0,50 | 1,00 | 0,04 | 0,21 | -0,03 |
| Ca/Cr 100 | 0,79 | 0,08 | -0,14 | 0,28 | 0,04 | 1,00 | 0,04 | -0,07 |
| Uri/Cr 100 | -0,04 | -0,47 | 0,23 | 0,30 | 0,21 | 0,04 | 1,00 | 0,22 |
| Ur Lec g/l | -0,19 | -0,29 | -0,22 | -0,17 | -0,03 | -0,07 | 0,22 | 1,00 |

The forage resources in the study area vary according to the time of the year. The dry season comprises the period from April to September and the rainy season begins in October. The estimation of the forage ingestion carried out by Guevara et al. [3, 45, 46, 47] and Van den Bosch et al [4] for the dry season based on the forage available and the diets botanical composition (estimated from the microhistological analysis of feces) is shown in Table 3.

Table 3. a) Biochemical parameters means from April to October; b) Diet botanical composition calculated as percentages of ingestion of grasses and shrubs measured by microhistological analysis of feces during the period April-October; c) Estimation of forage ingestion on the basis of grasses and shrubs available and the requirements of ME and CP of the lactating cows for each of the studied months

| BIOCHEMICAL PARAMETERS | | | | | | |
|------------------------|------------|------------|-----------|-------------|------------|-----------|
| Mes | Ca Or mg/l | Cr Or mg/l | Ur Or g/l | Uri Or mg/l | Ur/Cr 1000 | Uri/Cr100 |
| Abril | 22,28 | 1600,84 | 0,42 | 102,50 | 0,33 | 7,38 |
| May | 89,32 | 1185,04 | 1,37 | 55,38 | 3,49 | 5,76 |
| June | 284,55 | 2372,88 | 0,98 | 117,50 | 1,11 | 6,50 |
| July | 18,38 | 1518,28 | 4,15 | 124,78 | 3,28 | 8,08 |
| August | 10,13 | 381,69 | 3,16 | 59,45 | 13,19 | 6,59 |
| September | 13,51 | 420,97 | 3,55 | 60,95 | 13,46 | 13,79 |

| BOTANICAL COMPOSITION OF THE DIET | | | | | | | | |
|-----------------------------------|--------------------|--------------|---------------------|--------------------------|-------------------------|---------------|---------------------|--------------------------------|
| Mes | Chloris cordifolia | Aristida sp. | Panicum urvilleanum | Pappophorum phillypianum | Stenotaphrum secundatum | Total Grasses | Capparis atamisquea | Hyalis argentea var. latifolia |
| Abril | 14,08 | 2,70 | 14,08 | 10,58 | 9,30 | 60,10 | 18,40 | 18,08 |
| May | 7,60 | 7,50 | 16,70 | 6,50 | 8,00 | 59,90 | 18,10 | 18,70 |
| June | 10,38 | 4,90 | 14,50 | 7,70 | 6,70 | 52,10 | 18,80 | 14,18 |
| July | 8,80 | 4,30 | 16,90 | 5,30 | 3,10 | 45,30 | 11,50 | 27,78 |
| August | 3,60 | 0,30 | 20,60 | 6,10 | 2,90 | 42,50 | 15,50 | 20,40 |
| September | 6,90 | 4,30 | 19,30 | 5,60 | 3,30 | 49,50 | 15,60 | 18,08 |
| October | 9,30 | 4,40 | 23,20 | 8,10 | 4,80 | 59,50 | 0,30 | 9,20 |

| PARAMETROS BIOQUÍMICOS | | | | | | |
|------------------------|------------|------------|-----------|-------------|------------|-----------|
| Mes | Ca Or mg/l | Cr Or mg/l | Ur Or g/l | Uri Or mg/l | Ur/Cr 1000 | Uri/Cr100 |
| Abril | 22,28 | 1600,84 | 0,42 | 102,50 | 0,33 | 7,38 |
| May | 89,32 | 1195,16 | 1,37 | 55,38 | 3,49 | 5,76 |
| June | 284,55 | 2372,88 | 0,98 | 117,50 | 1,11 | 6,50 |
| July | 18,38 | 1518,20 | 4,15 | 124,78 | 3,28 | 8,08 |
| August | 10,13 | 381,68 | 3,16 | 59,43 | 13,19 | 6,99 |

The three data tables, gathered in a super-matrix, show average values of bio-chemical indicators, diets, and forage conditions taken from different sources, but all corresponding to the months from April through October. In PCA, the first table shows a three-dimensional structure (with explained inertia = 87.85%), whereas the others are bi-dimensional (with explained inertia = 77.32% and 93.47% respectively; the diets table 3rd dimension adds up to 88.62%). In Figure 1 both characters and months are represented in each table's principal plane spanned by the first two principal components. The first principal component of the PCA on bio-chemical data opposes the urea to the other parameters, the second is correlated with UrLec and Ca/Cr, while the third opposes Uri/Cr and Ur-Lec to Ca/Cr and Ur/Cr. In diets PCA, the first principal component opposes Shrubs to Grasses, whilst the second opposes Panicum urvilleanum y Lycium chilense to Capparis atamisquea y Hyalis argentea and the third is essentially tied with Aristida sp..

Figure 1 - Representation of the characters (above) and the months (below) on the first principal plane of PCA of bio-chemical indicators (left), diets (center), and forage resources (right) data tables.

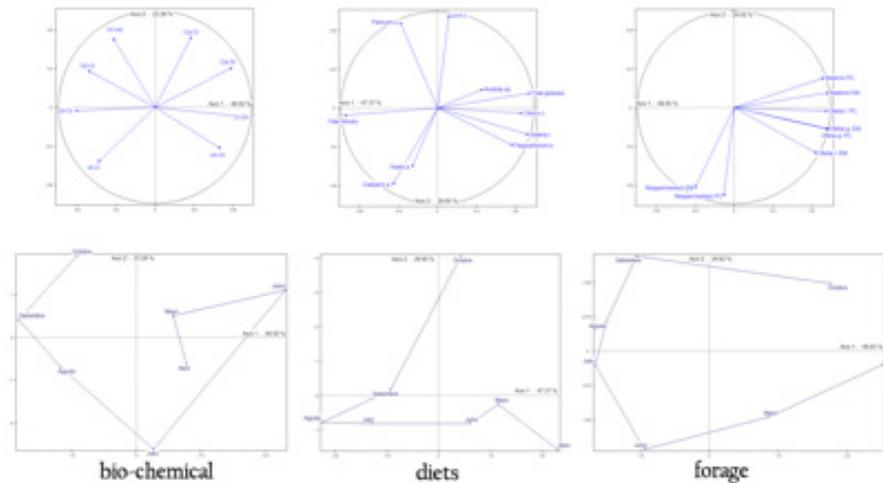
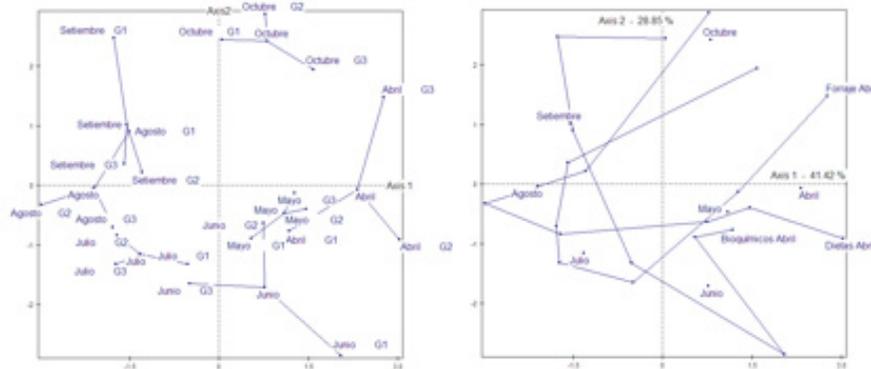


Figure 2 - Representation on the plane spanned by the first two factors of MFA of the month as a compromise of the three partial representations (left: G1=bio-chemicals, G2=diets, G3=forages) and the trajectories along time of some parameters (right).



In the PCA of forage resources, both offers and balances are strictly correlated with the first principal component, whereas the resources are correlated with the second, a sign of non-correlation between them. In all analyses, the months are scattered along a continuous evolutionary line, that may be interpreted according to variation of the characters taken into account in the specific study. Thus, the bio-chemical characters are greatly affected by August and September in a high stress position, due to drought (Table 3) and forage supply. The position of both April and May, badly represented in this plane, but more (opposite) correlated with the third principal component, depends on their relation with the characters most correlated (in opposition) with this axis. For the diets, the pattern of the months is essentially due to the opposition of grass (present during the warm season) with shrubs (present during the fresh season). The position of October on the second axis is clearly depending upon the presence in that month of *Panicum urvilleanum* y *Lycium chilense*. For the forage, the pattern of the months is clearly tied to the presence/absence of the forage, more abundant in April and October, whereas in June and September negative balances of energy and protein are registered. It is possible to observe that in April the main grasses in the cow's diet were *Pappophorum philippianum*, *Setaria leucopira*, and *Chloris castillonaria*, an important quantity of grasses available and the requirements of the lactating cows are met. The animals had high values of CrOr and UriOr and low values UrLec and Ur/Cr, indicating a probable good synthesis of microbic protein, a good efficiency of the nitrogen utilization, derived from the low values of UrLec and Ur/Cr and a good muscular mass represented by high values of CrOr. As the dry season develops, the proportion of grasses in the diet decreases and the proportion of shrubs, such as *Capparis atamisquea* and *Hyalis argentea* increases as well as nutrient requirements of the lactating cows, mainly in the third month (June) in which the values of UriOr and CrOr were high. In July the values of CrOr fell and an important increase in the UrOr values resulted.

In August the nutrient requirements of the lactating cows decreased, the forage available was minimum and so the balance was negative., the shrubs in the diet predominated and the urea and Ur/Cr increased, the Ur/Ce increased, the Cr Or decreased while UeLec began to increase. In September, this situation becomes serious and is reverted in October. In this month the proportion of *Panicum urvilleanum* and *Lycium chilense* increases in the diet, the Ur/Cr values decrease and UrLec increases.

Table 4. Monthly temperature and precipitation occurring in the study site in the year 2008.

| Month | Mean temperature (°C) | Rainfall (mm) |
|-----------|-----------------------|---------------|
| April | | 6,5 |
| May | 15,1 | 5,0 |
| June | 7,0 | 0 |
| July | 8,9 | 0 |
| August | 9,9 | 6,0 |
| September | 13,6 | 6,0 |
| October | 17,9 | 56,0 |
| November | 24,1 | 25,8 |
| December | 23,8 | 64,5 |

The nutrient requirements of the cows are recovered and there exists a positive balance of energy and protein. In MFA analysis, the pattern of the months on the plane spanned by the first two factors (Figure 2 left) is curvilinear, with minor differences depending on the different group taken into account. An analogous pattern occurs for the parameters, shown on Figure 2 right. It is evident that the three groups of variables are in good agreement and that the biochemical parameters are sensitive to detect forage ingestion and are correlated with the diet botanical composition and the forage availability. The precipitation and the temperatures registered during the study period are shown in Table 4. In October the rainy season begins. The frequencies of the values of Ur/Cr found is shown in Figure 4.

Multiple regressions

As a second step of the analyses, we run some multiple regressions, to explain the behavior of some variables through others. The stepwise method allowed to select the models that best fit the variables. In particular, we report here two regressions, important for their physiological significance: 1) the modelling of CrOr through UriOr, UrOr, and UrLec; 2) the modelling of UriOr through CaOr Ca/Cr and Ur/Cr.

First model

The equation is: $CrOr = 1258,96 + 5,64 UriOr - 114,25 UrOr - 1307,05 UrLec$.

This model shows a positive relation of CrOr with UriOr and negative with both UrOr and UrLec (Table 5). The residual, predicted and observed values are shown in Figure 4.

Figure 3. Frequency histogram for the indicator Ur/Cr

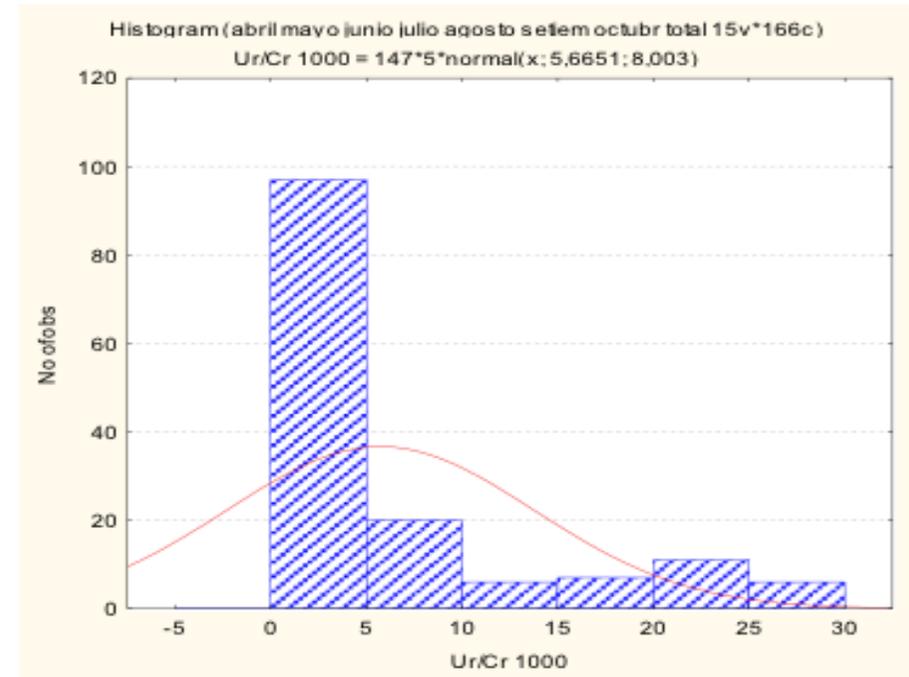
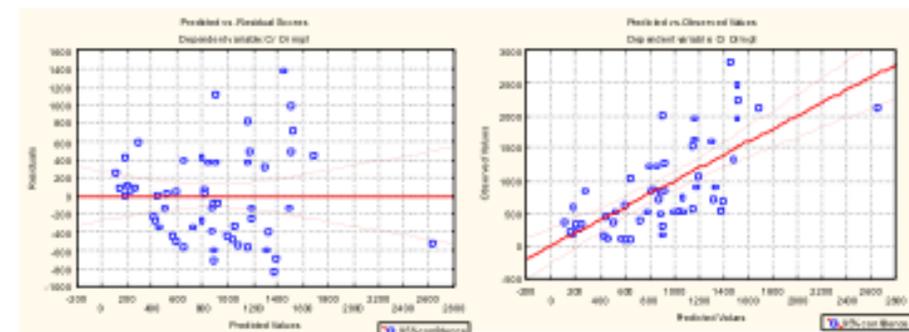


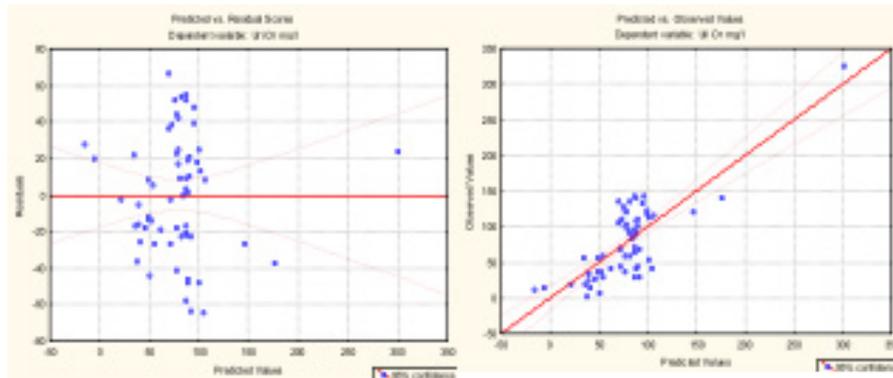
Figure 4. Plot of the residual vs. predicted values (left) and of observed vs. predicted values (right) for the regression of CrOr.



Second model

The equation is: $UriOr = 89,16207 + 0,36961 CaOr - 3,23355 Ca/Cr - 1,72229 Ur/Cr$. This regression (Table 6) shows a positive relation of UriOr with CaOr and negative with both Ca/Cr and Ur/Cr. The residual, predicted and observed values are shown in Figure 5.

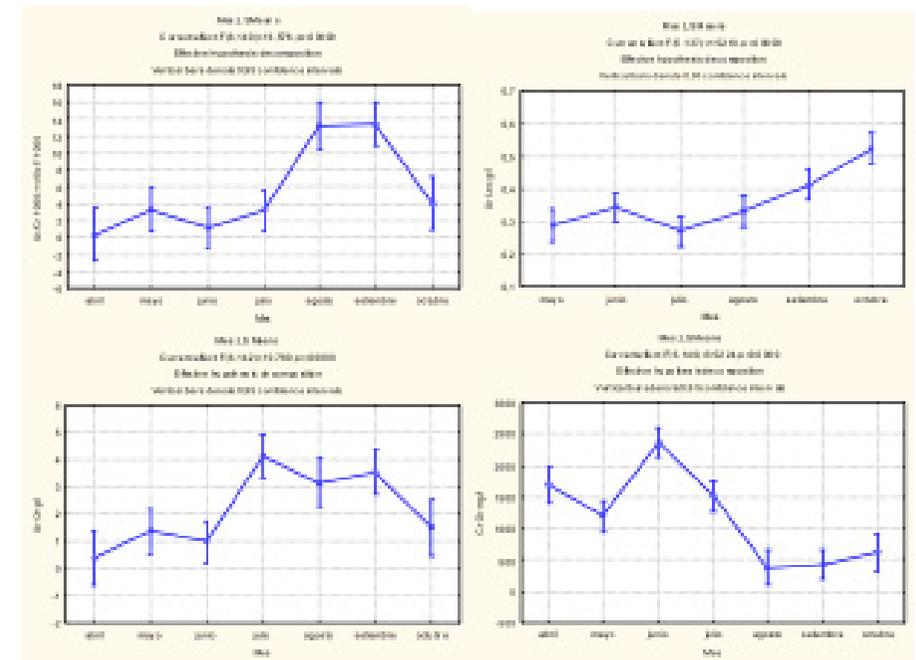
Figure 5. Plot of the residual vs. predicted values (left) and of observed vs. predicted values (right) for the regression of UriOr.



The results of Table 5 allow to conclude that, under the conditions of this trial, CrOr is an indicator of muscular mass and decreases with the increase of UrOr when the intake restriction is severe and there is an imbalance between energy and protein, that is, when there is a need of protein consumption to obtain proteins in presence of catabolism. The sensitivity of Ur/Cr as indicator of intake deficit and/or energetic-proteic imbalance is found in the diminishing of CrOr at the expenses of the increase of UrOr. On the other hand, the results shown in Table 6 show that the uric acid, an indicator of the rumen microbial protein synthesis, increases joined with CaOr but opposite to Ca/Cr. This is due to the direct relation of CrOr with UriOr ($r = 0.25$; Table 2) with $\beta = 0.45$ (Table 5) so that the parameter Ca/Cr decreases. According to [10], in humans the increase of animal protein ingestion decreases the calciuria. In this test the calciuria may be increasing while the production of microbial protein behaves similarly. The ratio Ur / Cr with uricosuria is negatively related to the conditions of this test, as shown by $\beta = -0.29$ in Table 5 and $r = -0.50$ in Table 2.

The biochemical behaviour of Ur/Cr, CrOr, UrLec, and UrOr during the months from April through October was tested by ANOVA (Table 7). The mean values are shown in Figure 6. For Ur/Cr, the Tukey test results are reported in Table 8. The differences of the means of both August and September were different from all other months ($p < 0.0000$; Table 8). One can observe the decrease of CrOr and the increase of UrOr during July, August and September, and both the decrease of UrOr and the increase of CrOr during the months from April to June. Note also the steady increase of UrLec starting from July (Figure 6).

Figure 6. Variation of the parameters Ur/Cr, UrLec, UrOr and CrOr for each month in the period April-October.



DISCUSSION

From the analysis of the frequency histogram it is possible to observe that the values comprised in the range 0-5 mg/mg had a frequency higher than the rest of the range (Figure 3). If we take into account that the animals involved in the present study completed normally their lactation period it is possible to infer that this range of values of Ur/Cr until 5 mg/mg is related to the maintenance value for the study site and under the conditions of this trial. We observe that UrOr and CrOr are negatively correlated ($r = -0.40$; Table 2 and $\beta = -0.40$; Table 5) and that the Ur/Cr varies during the study months (Figure 6), being in July = 3,26, August = 13,19, September = 13,46, and October = 4,02. Also shown is an decrease of the estimated intake of energy in August and September (Table 3).

In the trials carried out in the study site it was found that the cow's diet botanical composition was significantly correlated with both temperature and precipitation, and that differences in the species dominant in the diet was observed (Table 7b) [5, 43, 45, 46, 47]. In the year in which the study was carried out, the rainy season began in October. The mean temperatures and rainfall occurring in Ñacuñán (30 km South of the study site, Table 4) indicated that the rainy period ranged from the middle of September to the middle of October and during the last two weeks in December.

The different results during October in relation to the month that compose the dry season, in terms of botanical diet composition (G2), forage ingested, nutrient requirements and balance between them (G3) as well as biochemical parameters (G1) are shown in Figures 1 and 2. It is also possible to observe a similar result with the analyzed groups (G1, G2 and G3) for the months of the dry season (April to September).

The composition of the cow's diet during October, which was very different from the other months, could be attributed to the fact that *Lycium chilense* var. *minutifolium* and *Panicum urvilleanum* appear to be the species that begin to sprout first when rain occurs, as long as not limited by the temperature.

From the analysis of the matrix correlation among the biochemical parameters the relationships CrOr with CaOr ($r = 0,45$), UrOr ($r = -0,40$), UriOr ($r = 0,56$), UrLec ($r = -0,29$) and UriOr with CaOr ($r = 0,65$), Ur/Cr ($r = -0,50$). were selected as the most relevant.

In Figure 2, the pattern of the months as seen both by the whole analysis and by the partial groups of characters is represented. In the left graphics each month is set at the center of the corresponding partial representations that are tied to it with a link. Observe that the months are arranged according to a regular curvilinear pattern, with only October a little further from September. The partial representations of May and July are very close to the center, whereas the others are more scattered around, in particular the bio-chemicals in June and September and the Forages in April. In the right graphic, the trajectories of the three partial months along time are shown: they are rather regular, with only the bio-chemicals in June laying evidently far from a regular trajectory. This may depend upon the increase of CaOr and CrOr in this month due to the contribution of the mineral and vitamin supplements.

The mean value found for urine urea was 2.27 ± 2.41 g/L, equivalent to 37.8 mmol/L. The highest value found was 124.5 mmol/L. These values are lower than those reported by both [26] (162 to 179 mmol/L) [25] (305 ± 2.7 mmol/L) for confined milk cows that eat diets with high protein content. The lower values obtained in our study can be attributed to cows that feed in arid range-lands.

The excretion of urine urea is a parameter significantly correlated with the nitrogen excretion (urine N) [36]: $82.1 \pm 0.9\%$ of the urine N which corresponds to urea [37]. The mean value found for urine creatinine was 1216.54 ± 921.34 mg/L or 9.28 mmol/L, higher than those reported by both [24] (6.26 – 8.13 mmol/L) and [25] (5.08 ± 0.06 mmol/L), both in Holstein and Friesian heifers. The higher values found in our study could be attributable to a higher muscular mass in Aberdeen cows [36, 38, 39], and incipient catabolism caused by thermic stress and/or higher physical activity.

We found a mean value of Ur/Cr of 5.66 ± 8.0 g/L equivalent to 12.36 mmol/L, while the value reported by [25] was 62.91 ± 0.87 mmol/L in confined cows feeding rich protein diets. This difference might be attributed to the high indicator sensitivity that shows ingestion differences and the conditions of our trial. Although either the urea or the creatinine shows dependency with the diuresis, the changes in the relationship Ur/Cr are compensated.

The Ur/Cr values found in this work were similar to those reported by Servello and Schneider [15] and DelGiudice et al. [17, 18, 19, 20, 21, 22]. These authors considered that the indicator Ur/Cr is useful in the endogenous protein catabolism and the energy exhaustion. For these authors, the Ur/Cr (mg/mg) values in animal under normal conditions were 4.4 ± 0.3 while in malnutrition conditions these values were 73.5 ± 30.5 (when contained less than 10 % of medular fat in the femur) in ungulates species (elk and bison). Also with less than 10 % of medular fat in the femur the values obtained were $30,3 \pm 9,2$ and $26,7 \pm 9,6$.

This important difference between the maintenance and catabolism values demonstrated the high sensitivity of this indicator.

This work shows that high values of Ur/Cr indicate catabolism for these trial conditions. For this reason one may suppose that the calciuria decrease because of the increase of Ur/Cr reaching values higher than 5, would not indicate increase of protein ingestion or the increase of protein microbic synthesis. The fact that the Ur/Cr parameter is an indicator of nutritional restriction was also reported by de Moen et al [23] and Del Giudice et al [16, 17, 18, 19, 20, 21, 22].

The UrLec increase in August, September and October (Figure 6) would be the result of its increase in blood and of a positive correlation between urea in blood and UrOr [6, 7, 8]. Either in the catabolism state or due to the high protein ingestion there was an increase of urea in blood and lower recycling of it and so there was an increase of UrOr and UrLec [23]. The junction of Ur/Cr and UrLec indicators would be useful in the analysis of ingestion predictors because they have high sensitivity and robustness when the protein-energy metabolism changes.

CONCLUSION

In this paper relations were found between the tested metabolites that permit the estimation of the nutritional state of cows that feed in rangelands. The most representative and high sensitive indicators were selected. To this end, Ur/Cr and UrLec were chosen, although relations among other indicators such as UriOr and CaOr were also established. It was determined that the most frequent value of Ur/Cr (mg:mg), associated with the maintenance of lactating cows, was in the range from 0.01 to 5 for the study site and the trial conditions. It was also found that Ur/Cr was highly sensitive to both urea increase and creatinine decrease in catabolism conditions.

The strong correlation between the parameter Ur/Cr and catabolism indicators, such as femur marrow fat lost and 3 methylhistidine/creatinine ($R^2=0.52$ and $R^2=0.89$, respectively) allow the use of this parameter as an indicator of nutritional sustainability. The increase of CaOr was related mainly with UriOr which was considered as an indicator of microbial protein synthesis.

It was considered that UrLec was a good indicator for evaluating ingestion when the Ur/Cr value was in the maintenance range. The biochemical parameters during the study months were significantly correlated with the estimated forage ingestion and with the diet's botanical composition.

Further studies should be done using these parameters as ingestion indicators through trials with controlled diets provide to corral animals.

BIBLIOGRAPHY

- [1] 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.
- [2] Holechek; Vavra, M., Skovlin, J. 1981. Diet quality and performance of cattle on forest and grassland range. *J. Anim. Sci.* 53: 291-298.
- [3] Grünwaldt, E.G., Guevara, J.C., Estevez, O.R., Vicente, A., Rouselle, 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.
- [4] 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
- [5] Guevara; 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.), *Proceedings of the Fourth International Rangeland Congress*, pp. 696-699. Montpellier, France: CIRAD (SCIST).
- [6] Broderick G. A. 2003. Effects of varying dietary protein and energy levels on the production of lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.*, 86:1370-1381.
- [7] Giovanetti, V., Decandia, M., Boe, F., Zerbini, E., Cannas, A. and Molle, G. 2009. Effects of different dietary energy contents on milk urea concentration in stall-fed dairy sheep. *Options Méditerranéennes, A/ n° 85*,
- [8] Molle, G. V., Giovanetti, A., Cabiddu, M., Cuccureddu, G., Scanu, and Decandia, M. 2009, Milk urea as nutritional indicator in sheep grazing legume-based pastures *Options Méditerranéennes, A/ n° 85*, Nutritional and foraging ecology of sheep and goats.
- [9] Molle, G., Cabiddu, A., Decandia, M. 2007. Re-visiting the nutrition of dairy sheep grazing Mediterranean pastures. *Italian Journal of Animal Science*, 6(1): 235-243.
- [10] Hannan, M.T., Tucker, K.L., Dawson-Hughes, B. 2000. Effect of dietary protein on bone loss in early men and women the Framingham Osteoporosis Study. *J. of Bone and Mineral Research* 15(12):2504-2512
- [11] Saraví F.D. y Aquila Dumit F. J., 2005. Composición corporal y mineral óseo en gimnastas femeninas pre- y peripuberales. *Revista Médica Universitaria*, 1(1).
- [12] Chen, X.B., Susmel, P., Stefanon, B., Orksov, E.R., 1995. On the use of purine derivatives in spot urine, plasma and milk samples as indicators of microbial protein supply in sheep and cattle. *Proceedings of the 7th International Symposium on protein Metabolism and Nutrition*, 81.
- [13] Stefanon, B., Mills, R., Spanghero, M., Susmel, P., 1995. An evaluation of purine derivatives as indicators of rumen microbial protein synthesis in dry and lactating cows. *Proceedings of the 7th International Symposium on protein Metabolism and Nutrition*, 81.
- [14] Stefanon B., Volpe, V., Moscardini, s., Gruber, L., 2001. Using artificial neural networks to model the urinary excretion of total and purine derivative nitrogen fractions in cows. *J. Nutr.* 132 : 3307-3315.
- [15] Servello F., Schneider J. 2000. Evaluation of urinary indices of nutritional status for white-tailed deer: tests with winter browse diets. *J. Wildl. Manage.* 64: 137-145.
- [16] DelGiudice G., Mech D., Seal U.S., Karns P.D. 1987. Winter fasting and refeeding effects on urine characteristics in white-tailed deer. *J. Wildl. Manage.* 51: 860-864.
- [17] DelGiudice G., Mech D., Seal U.S. 1990. Effects of winter undernutrition on body composition and physiological profiles of white-tailed deer. *J. Wildl. Manage.* 54: 539-550.
- [18] DelGiudice G., Seal U.S. 1991. Mech D. Indicators of severe undernutrition in urine of free-ranging elk during winter. *Wildl. Soc. Bull.* 19: 106-110
- [19] DelGiudice G., Mech D., Seal U.S. 1994. Undernutrition and serum and urinary urea nitrogen of white-tailed deer during winter. *J. Wildl. Manage.*, 58: 430-436.
- [20] DelGiudice G., Peterson R.O., Samuel W.M. 1997. Trends of winter nutritional restriction, ticks, and numbers of moose on isle royale. *J. Wildl. Manage.* 61:895-903.
- [21] DelGiudice G., Kerr K.D., Mech D., Riggs M.R., Seal U.S. 1998. Urinary 3 methyl-histidine and progressive Winter undernutrition in white-tailed deer. *Can. J. Zool* 76: 2090-2095.
- [22] DelGiudice G., Moen R.A., Singer F.J., Riggs M.R. 2001. Winter nutritional restriction and simulated body condition of Yellowstone elk and bison before and after the fires of 1988. *Wildlife Monographs*. October n°147.
- [23] Moen R., DelGiudice G. 1997. Simulating nitrogen metabolism and urinary urea nitrogen:creatinine ratios in ruminants. *J. Wildl. Manage.* 61:881-894
- [24] Chen, X. B.; Grubic, G., Orskov, E. R., Osuji, P. 1992. Effect of feeding frequency on diurnal variation in plasma and urinary purine derivatives in steers. *Anim. Prod.* 55: 185-191.
- [25] Céspedes Honorato J.A., Excreción diaria de Nitrógeno, urea y Creatinina en la orina de vacas lecheras confinadas. 1998. Tesis Universidad Austral de Chile. Association of official agricultural chemists, (A.O.A.C). 1960. *Official Methods of analysis*. Washington D. C.

- [26] Gonda, H. L.; Lindberg, J. E. 1994. Evaluation of Dietary Nitrogen Utilisation in Dairy Cows Based on Urea Concentrations in Blood, Urine and Milk, and on Urinary Concentration of Purine Derivatives. *Acta Agric. Scand., Sect. A, Animal Sci.* 44: 236 - 245.
- [27] Kabasakalian, P., Kalliney, S., Westcott, A., 1973. Determination of Uric Acid in Serum, with Use of Uricase and a Tribromophenol—Aminoantipyrine Chromogen. *Clinical Chemistry*, 19: 522-524
- [28] Abdi, H. (2007), Singular Value Decomposition (SVD) and Generalized Singular Value Decomposition (GSVD), in: N. Salkind (ed.), *Encyclopedia of Measurement and Statistics*, Thousand Oaks (CA), Sage.
- [29] Bry, X. (1995), *Analyses Factorielles Simples*, Paris, Economica.
- [30] Bry, X. (1996), *Analyses Factorielles Multiples*, Paris, Economica.
- [31] Eckart, C. and G. Young (1936), The approximation of one matrix by another of lower rank. *Psychometrika*, 1: pp. 211-218.
- [32] Escofier, B. and J. Pagès (2008), *Analyses factorielles simples et multiples: objectifs, méthodes et interprétation*, Paris, Dunod.
- [33] Langrand, C. and L.M. Pinzón (2009), *Análisis De Datos. Métodos y ejemplos*, Bogotá, Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito.
- [34] Legendre, P. and L. Legendre (1998), *Numerical Ecology*, 2nd ed., New York, Elsevier.
- [35] Lebart, L., A. Morineau, T. Lambert, and P. Pleuvret (1999), *SPAD - Système Pour l'Analyse des Données*, version 5.5, Paris, CISIA-CERESTA.
- [36] Bondi, A. A. 1988. *Nutrición Animal*. Editorial Acribia. Zaragoza.
- [37] Oldham, J.; Tamminga, Y. 1995. Changes in the nutrition and Management of herbivores in the nutrition of herbivores. INRA. Paris.
- [38] Fleming, S. A.; Hunt; E. L., Riviere; J. E., Anderson, K. L. 1991. Renal clearance and fractional excretion of electrolytes over four 6 hour periods in cattle. *Am. J. Vet. Res.* 52: 5-8.
- [39] Blake, R. W.; Custodio; A. A., Broderick; G. A., Landmann; W. A., Young, C. R. 1980. Relationships among feed intake, urinary creatinine, body protein turnover, and protein utilisation in Holstein and Jersey cows. Progress Report, Texas Agricultural Experimental Station.
- [40] Susmel P., Spanghero M., Stefanon B., Mills C.R. 1995. Nitrogen balance and partitioning of some nitrogen catabolites in milk and urine of lactating cows. *Livestock Production Science* 44: 207-219.
- [41] Susmel P., Stefanon B., Plazzotta E, Spanghero M., and Mills C.R. 1994. The effect of energy and protein intake on the excretion of purine derivatives. *Journal of Agricultural Science* 123: 257-265.
- [42] Chen, X.B., Susmel, P., Stefanon, B., Orksov, E.R., 1995. On the use of purine derivatives in spot urine, plasma and milk samples as indicators of microbial protein supply in sheep and cattle. *Proceedings of the 7th International Symposium on protein Metabolism and Nutrition*, 81.
- [43] Guevara; Estevez, O.R., Stasi, C.R., Monge, A.S. 1996a. Botanical composition of the seasonal diet of cattle in the rangelands of the Monte Desert of Mendoza, Argentina. *J. Arid Environ.* 32: 387-394.
- [44] Silva Colomer, J.H., Guevara, J.C., Marchi, A., Estevez, O.R. and Stasi, C.R. 1991. Native grasses and the nutrition of the breeding cow in the arid plain of Mendoza, Argentina. *J. Arid. Environ.* 20:113-118.
- [45] Guevara, J.C., Estevez, O., Stasi, C., Monge, A. 1997a. Monthly botanical composition of the diet of cattle in the rangelands of Mendoza plain Argentina. *Journal of Arid Environments* 36: 655-660.
- [46] Guevara, J.C., Cavagnaro, J.B., Estevez, O.R., Le Houérou, H.N., Stasi, C.R. 1997b. Productivity, management and development problems in the arid rangelands of the central Mendoza plains (Argentina). *J. Arid Environ.* 35: 575-600.
- [47] Guevara, J.C., Stasi, C.R., Estevez, O. 1996b. Seasonal specific selectivity by cattle on rangeland in the Monte Desert of Mendoza, Argentina. *Journal of Arid Environments* 34: 125-132.
- [48] Montgomery, D.C., Peck, E.A. 1992. *Introduction to Linear Regression Analysis*. New York, J. Wiley and Sons.
- [49] Talke, H., Schubert, G.E., 1965, *Klin. Wchens.*, 43: 174.
- [50] Jaffe, M.Z. 1886. Methods determining creatinine, *Physiol. Chem.*, 10: 39-40.
- [51] Statsoft. *Statistica version 7*. <http://www.statsoft.com>

Simbología del Paisaje. Grabados Rupestres de la Mala Dormida. Cerro El Morro. Malargüe. Mendoza

INTRODUCCIÓN

En el Año 2007, a partir de subsidios otorgados por el Fondo Provincial de la Cultura. Secretaría de Cultura Gobierno de Mendoza, se iniciaron trabajos de relevamiento de sitios con arte rupestre del departamento de Malargüe. El objetivo general de éste trabajo es contribuir en la comprensión de la complejidad social de los grupos humanos del pasado que ocuparon el actual territorio de Malargüe. A partir del estudio de la variabilidad del arte rupestre del sur mendocino y su rol en la problemática arqueológica regional.

ANTECEDENTES DE INVESTIGACIÓN

Los estudios en la zona sobre arte rupestre comienzan en la década de 1950, cuando el historiador Vicente Orlando Agüero Blanch, da a conocer los primeros datos del sitio con petroglifos arroyo Agua Botada, ubicado a 40 Kms al sur de la localidad de Malargüe. Estos resultados fueron presentados en una comunicación de la sociedad Argentina de Antropología en Buenos Aires en 1958.

Años más tarde en 1962 comienzan los estudios sistemáticos del Dr. Juan Schobinger junto con otros especialistas y el Dr. Carlos Gradín, con quien durante casi tres décadas avanzan en el análisis de 14 sitios relevados durante sus investigaciones (Gradín 1997; Schobinger 2002). Los autores Schobinger y Gradín distinguen dos técnicas diferentes en la confección de las representaciones, por un lado petroglifos o grabados y por otras pinturas rupestres. Schobinger identifica cuatro modalidades diferentes de estilo en los grabados representados; un estilo curvilíneo o irregular típico del área cuyana, representado en los sitios de Coihuecú y en el cañadón de los Mendinos. Cabezas y figuras mascariformes, motivo se raíz andina, presentes en algunos sitios como Laguna el totoral, Arroyo el Morro y Coihuecú entre otros. El tridigito único elemento del estilo de pisadas de norpatagonia, presente en sitios como Agua botada, Chenquecú, también presente

Lic. Hugo Tucker (1),

Tec. Andrés Risi (2) (3)

1 Área de Arqueología. Centro Regional de Investigaciones y Desarrollo Cultural (C.R.I.D.C.) Secretaria de Desarrollo Humano. Municipalidad de Malargüe.

2 Centro Internacional de Ciencias de la Tierra. (i.c.e.s) Nodo Argentina.

3 Complejo Planetario Malargüe. Secretaría de Desarrollo Económico. Municipalidad de Malargüe.

aguitucker@yahoo.com.ar

en sitios con pinturas. El cuarto estilo de grabados está representado en un solo sitio, en la cordillera, en valle hermoso en las nacientes del río Grande, caracterizado por su particular geometrismo, sin aparente relación con ningún otro sitio de la región, salvo con el sitio de las piedras marcada ubicado en la zona montañosa al norte del río Maule, en el departamento de Talca en Chile. En el caso de las pinturas rupestres se percibe la influencia del estilo de grecas de la zona de Rincón Amarillo del Payen relacionado con el estilo norpatagonico y del noroeste de Neuquén (Gradín 1997; Schobinger 2002). En relación a la comparación de motivos y estilos del área con los de otras regiones proponen una antigüedad que correspondería a la segunda mitad del Holoceno tardío, entre los ca. 2000-250 años AP (Gil 2000).

En las últimas dos décadas, distintos grupos de investigación han ampliado exponencialmente los conocimientos vinculados al pasado humano. Dichas líneas se han enfocado a entender la adaptación humana poniendo énfasis en el estudio de las estrategias tecnológicas y de subsistencia, sin sumar a sus interpretaciones el rol del arte rupestre. (Lagiglia 1999; Durán 2000; Gil y Neme 2002, 2008).

En el 2007 se comenzó la investigación y recopilación bibliográfica sobre el arte rupestre en la región sur de Mendoza y áreas vecinas, haciendo hincapié en el departamento de Malargüe. Tomando como base los trabajos realizados por Schobinger y Gradín, se comienza con trabajos de relevamiento y ubicación de sitios con arte rupestres, esta primera etapa se realizó con un subsidio otorgado en el 2008 por el Fondo Provincial de Cultura. Secretaria de Cultura Gobierno de Mendoza. Esta primera etapa posibilitó caracterizar y entender el registro rupestre del departamento e integrarlo a la arqueología regional.

En el 2009 se continuó con la segunda etapa, analizando los datos ya obtenidos y ampliando las áreas de relevamiento para comprender la versatilidad cultural a través del espacio, representando parte de los diferentes paisajes habitados en el pasado, que hoy poseen características geográficas y ambientales contrastante. En este trabajo se presentan los resultados preliminares de los datos generados en los trabajos de campo llevados a cabo en el cauce del arroyo La mala Dormida, Cerro El Morro, cuenca superior del Río Malargüe, sector norte.

PROPUESTA DE TRABAJO:

El objetivo de la investigación es entender que papel jugaron las representaciones rupestres en la problemática humana en el holoceno tardío. Desde un marco materialista-social asumimos que ninguna acción humana se concibe aisladamente, entendiendo a las representaciones rupestres dentro de un sistema de comunicación social a nivel regional, el cual hay que comprender desde su reproducción material en tres aspectos integrados, económico, tecnológico y cognitivo, necesarios para las manifestaciones humanas en un contexto histórico determinado (Fiore 2006).

Teniendo en cuenta que en los últimos 2500 años se producen las primeras evidencia de una transformación a nivel regional, representada por una mayor demografía, donde se registran ocupaciones en la totalidad del territorio: se propone una intensificación en la explotación de los recursos, amplia circulación de bienes materiales a través del intercambio con regiones vecinas (Durán 2000; Gil y Neme 2002, 2008), contexto en el cual aparecen las representaciones rupestres, materializando la complejidad social. Complejidad que se plantean como resultado de relaciones sociales, donde interactúan distintos actores sociales a través del paisaje.

Desde la perspectiva conceptual y metodológica se pondrá énfasis en el estudio de la estructura del paisaje (Wandsnider 1998), entendiendo a este como un fenómeno social producto de las relaciones entre los seres humanos, establecido en tres dimensiones: física, social y simbólica (Carden 2008; Criado 1999) donde el paisaje, no sólo está compuesto por la superficie y sus formas de relieve, sino que incorpora el cielo diurno y nocturno. La importancia del abordaje desde la problemática del arte rupestre del paisaje radica en que las expresiones, no solo están integradas al paisaje si no que estas son producto sociales y como tales articulan dimensiones materiales, a partir del proceso del trabajo, al tratarse de representaciones de la realidad social (Aschero 1988; Fiore 1996).

DISCUSIÓN Y PERSPECTIVAS:

Si bien nuestro trabajo recién comienza, los análisis efectuados nos permiten a partir de las evidencias, generar una serie de interrogantes acerca de la complejidad del arte rupestre y su relación con su distribución en el paisaje, La contextualización de su producción asociada a prácticas socioeconómicas particulares y la funcionalidad de las manifestaciones rupestres dentro del registro arqueológico.

Esperamos construir Herramientas conceptuales a través de un abordaje multidisciplinar que nos permita entender de una manera integral la problemática arqueológica regional, dando repuestas a nuevas preguntas.

AGRADECIMIENTOS

A nuestras familias por todo. A la Municipalidad de Malargüe por brindarnos el espacio para trabajar. Al fondo de la Cultura. Secretaria de cultura gobierno de Mendoza por los subsidios otorgados. A nuestros profesionales amigos que comparten esta locura con nosotros. A las familias de la zona rural que tantas veces nos dan una mano y muy especialmente a Don Luna por compartir su sabiduría con nosotros, desde donde este lo seguiremos escuchando.

REFERENCIAS

- ASCHERO, C. A., 1988. Pinturas rupestres, actividades y recursos naturales: un encuadre arqueológico. En *Arqueología Contemporánea Argentina, Actualidad y Perspectivas*, H. Yacobaccio, Ed., pp. 109-145. Buenos Aires: Ediciones Búsqueda.
- 1996. ¿Adónde van esos guanacos? En *Arqueología. Sólo Patagonia*. Ponencias de las II Jornadas de Arqueología de la Patagonia, J. Gómez Otero, Ed., pp. 153-152. Puerto Madryn: CENPAT-CONICET.
- CARDEN, N., 2007 Ms. Rastros de piedra: identificación, reconocimiento e interpretación de pisadas en los grabados de Piedra Museo y Aguada del Cuero, Meseta Central de Santa Cruz, Argentina.
- CRIADO BOADO, F., 1999. Del terreno al espacio: planteamientos y perspectivas para la arqueología del paisaje. *Capa 6*: 1-58, Santiago de Compostela.
- Durán, V. 2004. Poblaciones Indígenas de Malargüe, su arqueología e historia. Universidad Nacional de Cuyo/ Facultad de Filosofía y Letras. CEIDER, Serie Libros N° 1.
- 2002. Body painting in Tierra del Fuego. The power of images in the uttermost part of the world. Tesis Doctoral. University of London. University College London, Londres.

- Fiore, D. 2004. Arte rupestre y mobiliario en Fuego-Patagonia. Distribución espacial, movilidad y tecnologías de producción artística. XV Congreso Nacional de Arqueología Argentina. Río Cuarto. MS.
- 1999. Diseños y técnicas en la decoración de artefactos: el caso de los sitios del Canal Beagle, Tierra del Fuego. Actas del XIII Congreso Nacional de Arqueología Argentina, Tomo 2:75-89.
- 1996. El arte rupestre como producto complejo de procesos económicos e ideológicos: una propuesta de análisis. Espacio, Tiempo y Forma. Serie I.
- Prehistoria y Arqueología. 9. UNED. Madrid. 239-259.
- García Sanjuán. 2005. Introducción al Reconocimiento y Análisis Arqueológico del Territorio. Ariel.
- GRADIN, C., 1978. Algunos aspectos del análisis de las manifestaciones rupestres. Revista del Museo Provincial I: 120-137. Neuquén.
- 1989. Los grabados rupestres del Cerro Yanquenao en la provincia del Chubut. Rawson. Publicación del gobierno de la provincia del Chubut.
- Neme G. 2007. Cazadores-recolectores de altura en los Andes meridionales. BAR. International Series 1591.
- Neme G. y A. Gil. 2008. Aspectos biogeográficos del poblamiento humano en los Andes meridionales. Chungará Revista de arqueología chilena Vol. 40 N° 1: 5-18.
- Neme G., A. Gil y V. Durán. 2005. Late Holocene in Southern Mendoza (Northwestern Patagonia): radiocarbon pattern and human occupation. Before farming, article 5.
- Schobinger J. 2002. Entre desiertos y montañas. Comp. Neme y Gil. Sociedad Argentina de Antropología.
- Schobinger, J., 1956. El arte rupestre de la provincia del Neuquén. Anales de Arqueología y Etnología T. XII: 115-227, Mendoza.
- Schobinger J. & C. GRADIN, 1985. Arte rupestre de la Argentina. Cazadores de la Patagonia y agricultores andinos. Madrid:Ediciones Encuentro.

Una clasificación global de espectros de precipitación por medio de un mapa auto organizado de redes neuronales

**W. M. Vargas (1),
D. A. Huggenberger (2).**

1 Depto. de Ciencias de la Atmósfera. Facultad de Cs. Exactas y Naturales. UBA

2 Facultad Regional "Delta". Universidad Tecnológica Nacional.

vargas@at.fcen.uba.ar

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 espectrales de variabilidad en la precipitación mensual considerando como criterio de clasificación escalas entre dos y veinte años. La estructura espectral más claramente definida se observa sobre el Pacífico ecuatorial oriental con máximos en 9 años, 6 años y 4.8 años. Esta estructura se observa también sobre el Atlántico ecuatorial central y oriental acoplada con una escala de más largo período que se proyecta sobre el Atlántico, África y algunas regiones del Índico, donde se observa un máximo de variabilidad en la escala de 25 a 30 años. Se propone, a modo de hipótesis para investigaciones posteriores, fundamentado en la estructura armónica del patrón de ondas con amplia extensión geográfica en torno al Globo, la posibilidad de que se trate de una resonancia dispersiva del sistema climático que podría presentar máximos y mínimos en esquemas de superposición de grupos de ondas con coherencia de fase.

INTRODUCCIÓN

El problema de la clasificación y caracterización de patrones es uno de los más tratados y de más amplia variedad de abordaje. Se intentará abordar el problema desde la perspectiva de las redes neuronales a los fines de clasificación de estructuras espectrales y extracción de patrones sintéticos como representativas a escala regional. 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 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 (Vargas, Huggenberger, 2009).

DATOS

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 de precipitación 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). Esta variable representa la velocidad de precipitación en metros cúbicos por segundo y se ajusta la escala para representar la anomalía de 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.

METODOLOGÍA

Sobre la base de un espectro de Blackman-Tukey (WMO-1966) con máximo lag de 212 se obtuvo un total de 213 puntos espectrales de la descomposición armónica de la precipitación en puntos de grilla. Debido a que el interés se centra en la caracterización de patrones espectrales en frecuencia intermedia, la clasificación se restringió al intervalo de períodos entre 2 y 20 años seleccionando los armónicos 3º al 26º.

Se entenderá por “estímulo” la señal expresada como una serie de valores numéricos. La “sensación” será la integración del “estímulo” 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 el patrón de actividad de las neuronas internas en ausencia de sensación y percepción que se expresa numéricamente en el patrón de pesos sinápticos que elaboran la respuesta de la red (Vargas, Huggenberger, 2009).

Se utilizará una red bidimensional de neuronas equidistantes en términos angulares en la superficie de una esfera de radio unitario. Se aplica el procedimiento de recirculación al entrenamiento de la red (Hinton, 1988). Cada una de las neuronas ocultas sintetiza la información recibida o estímulo sobre las neuronas visibles en un único parámetro. Un conjunto de pesos sinápticos inversos devuelve una imagen interna generada por la red sobre la capa de entrada. Los mismos pesos sinápticos directos devuelven una reflexión sobre la capa neuronal interna que la generó. El procedimiento de recirculación consiste en modificar los pesos directos e inversos de manera tal que el patrón de entrada y la imagen interna reflejada converjan a un mismo valor a la vez que las integraciones de la señal directa y reflejada sobre la capa interna se aproximen progresivamente entre sí. Al utilizar una única neurona como síntesis interna se interpreta el patrón de pesos sinápticos 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 X_0) → Neurona visible (W_d) → Neurona interna (Sensación $Y_1 = W_d \cdot X_0$)

Neurona visible (Percepción $X_2 = Y_1 W_i$) ← (W_i) Neurona interna

Neurona visible (W_d) → Neurona interna (Imagen perceptiva $Y_3 = W_d X_2$)

Aplicando la misma definición de distancia entre los patrones individuales de información y las percepciones de las neuronas como criterio de similitud entre los patrones típicos y los estímulos originales, se obtiene una clasificación de tales señales de entrada en términos de las abstracciones resultantes de la red.

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 espectros correspondientes a la precipitación en esos puntos de grilla. La primera capa interna se configura sobre 256 neuronas dispuestas sobre una red esférica. 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 4 neuronas.

Sobre la base de una esfera con N_1 ($N_1 = 256$) neuronas se efectúan $500 \cdot N_1$ lecturas de espectros seleccionados en forma aleatoria a partir de una base de datos. El primer proceso de recirculación se elabora a partir de un vector de entrada X_0 (estímulo) y un vector aleatorio de pesos directos (de la entrada a la neurona de la red) W_d para cada neurona de la capa. Se genera así un campo escalar Y_1 (sensación directa) que es transformado por medio de una tangente hiperbólica en el intervalo $(-1, 1)$. Este vector genera patrones X_2 (percepción) correspondientes a cada uno de los X_0 por medio de un vector de pesos inversos para cada neurona W_i . La percepción genera una segunda imagen interna Y_3 a través de los pesos sinápticos directos W_d (sensación secundaria o sensación percibida). Se comparan en términos de una norma euclidiana, por lo tanto con el ángulo entre los vectores X_0 con X_2 (estímulo con percepción) seleccionando la neurona cuya percepción se ajusta mejor al estímulo recibido. Simultáneamente se compara la sensación directa con la sensación percibida (Y_1 con Y_3) y modifican los pesos sinápticos W_d y W_i 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 encuentran a una distancia angular $\phi < r$ 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

$$W_{dijh} = W_{dijh-1} + \alpha(h) * R(\phi, h) * X_{2j} * (Y_{1i} - Y_{3i}).$$

En esta ecuación iterativa W_{dijh} 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 W_{dijh-1} pero correspondiendo al paso iterativo anterior. $R(\phi, h)$ 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, X_{2j} es el valor de la percepción X_2 correspondiente a la entrada j , Y_{1i} e Y_{3i} son las imágenes internas de la neurona i provenientes de la entrada X_0 y de la percepción X_2 .

La ecuación que sigue es equivalente a la anterior, pero para los pesos inversos.

$$W_{iijh} = W_{iijh-1} + \alpha(h) * R(\phi, h) * Y_{1i} * (X_{0j} - X_{2j})$$

En ella W_{iijh} 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 X_0 y el patrón reconstruido por cada neurona de la capa $Y_{1i} * W_i$, 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.

RESULTADOS

La neurona número uno de la cuarta capa (figura 1-a) rescata períodos dominantes en 9 años, 6 años y 4.8 años, localizados en regiones ecuatoriales y tropicales, predominantemente sobre el Pacífico Oriental y la banda ecuatorial del Atlántico. De manera menos definida se manifiesta sobre Indonesia y el Amazonas. Períodos no tan evidentes se observan en 4.1 años, 3.3 años, 2.9 años y 2.2 años. La neurona tres (figura 1-b), con una expresión geográfica sobre áreas tropicales al igual que la neurona uno y por lo que se las muestra en forma conjunta, presenta un patrón en el que predomina la muy baja frecuencia. Un segundo máximo espectral se observa en la escala de 9 años. Predomina en varias regiones de África, el Pacífico Occidental e Indonesia, regiones andinas de Ecuador, Perú, Bolivia y el Noroeste argentino, y en el Atlántico Ecuatorial próximo a zonas continentales. Puede verse en la composición de las figuras que se registra cierta complementariedad zonal en la distribución de patrones espectrales. Los intervalos espaciales ausentes presentan una estructura de variabilidad más compleja en la que la amplitud de los máximos expresados en la neurona 1 disminuye pero persiste resultando comparable con otras escalas de variabilidad.

Figura 1-a. Espectro Blackman-Tukey caracterizado por la neurona 1 de la cuarta capa

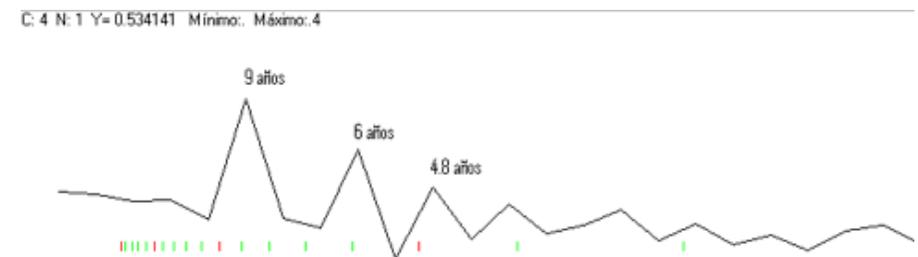


Figura 1-b. Espectro Blackman-Tukey caracterizado por la neurona 3 de la cuarta capa

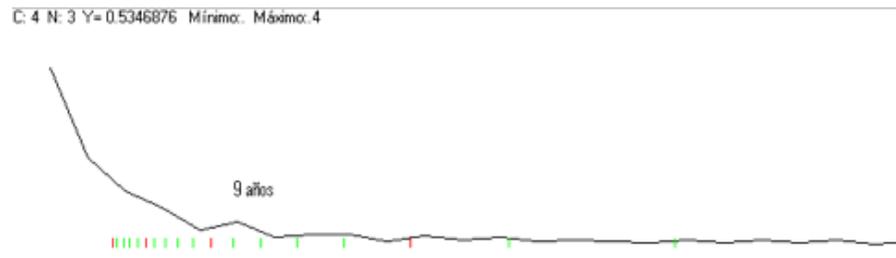
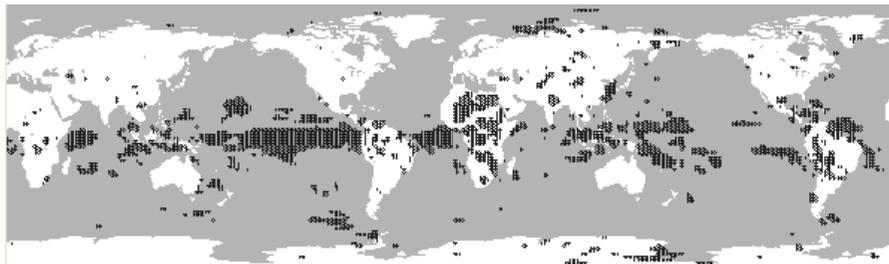


Figura 2. Distribución espacial del espectro asociado a la neurona 1 de la cuarta capa (izquierda) y de la neurona 3 de la cuarta capa (derecha)



La neurona número dos (figura 3-a) presenta un espectro muy suave con leves insinuaciones de periodicidad en 17 a 18 años, 7 a 8 años, 3.2 años, quizá también en 6 años y 4.1 años. Predomina el patrón espectral en latitudes medias y altas, tanto oceánicas como continentales. Sobre Argentina se presenta en la Patagonia. La cuarta neurona muestra un estructura más compleja con máximos espectrales en 17-18 años, 9 años, 6 años, en 4.8 años, 4.1 años y 3.3 años. Se presenta como un patrón geográfico también complejo con relevancia en muchas áreas subtropicales y de latitudes medias del Globo. Sobre Argentina representa predominantemente la lluvia en el Centro y Norte del país, incluyendo toda la Región Pampeana, Cuyo, Nordeste y el Litoral. El patrón de variabilidad de la neurona 2 está casi ausente sobre Sudamérica y África mientras que el complejo de variabilidad de la neurona 4 complementa espacialmente la expresada sobre estos continentes por las neuronas 1 y 3. A modo de hipótesis, es posible que variabilidad en el Pacífico central y oriental y el Atlántico, expresada en las escalas de 9, 6 y 4.8 años, repercuta sobre latitudes medias en forma difusa, en especial sobre el

Pacífico nororiental, aunque gran parte de Sudamérica se encuentra afectada y, llamativamente, el Ártico sobre Siberia. El período en la escala de 17 a 18 años parece tener relevancia global. Podría pensarse que los períodos de 9 y 6 años son armónicos de el de 17-18 años, pero eso no resulta claro considerando su ausencia en el patrón de la neurona uno. También es posible que los períodos de 9 y 6 años se acoplen para generar un período de 18 años.

En términos más generales, la estructura armónica de los máximos espectrales sugiere una posible resonancia interna del sistema climático, quizá a partir de no linealidades que generan procesos oscilatorios (Rodgers et al, 2003). La aparición de algunos armónicos en ciertas regiones y ausencia en otras, podría asociarse a un comportamiento dispersivo en la propagación de fases con superposición constructiva y destructiva diferenciada en términos geográficos en torno al Globo.

Figura 3-a. Espectro Blackman-Tukey caracterizado por la neurona 2 de la cuarta capa

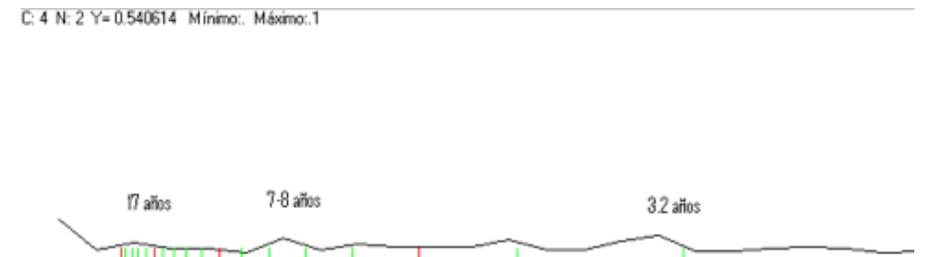


Figura 3-b. Espectro Blackman-Tukey caracterizado por la neurona 4 de la cuarta capa

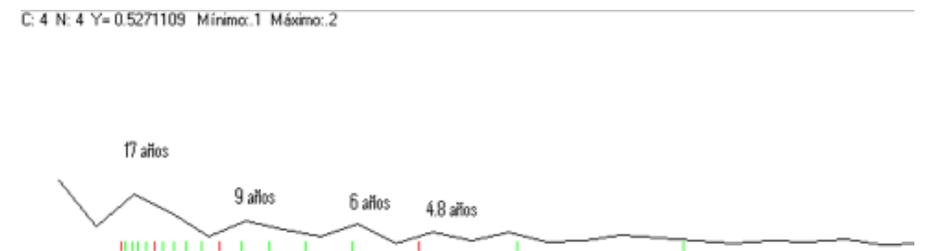
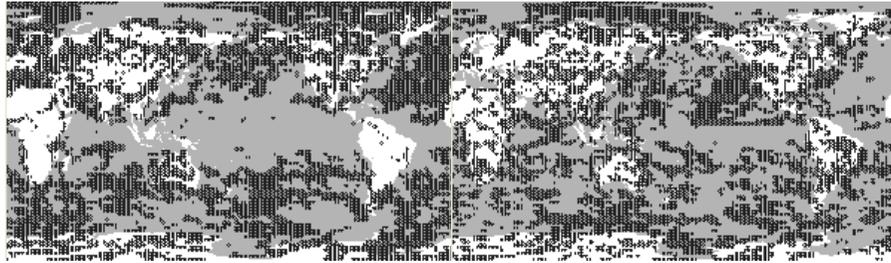


Figura 4. Distribución espacial del espectro asociado a la neurona 2 de la cuarta capa (izquierda) y de la neurona 4 de la cuarta capa (derecha)



En el presente trabajo se concentrará la atención en diferenciar los patrones espectrales sobre la banda ecuatorial, en especial los expresados en la neurona 1 y en segundo lugar de la neurona 3. En los gráficos que siguen se muestra el patrón espectral de las neuronas 15 y 4 de la capa tres, asociadas con la neurona 1 de la capa cuatro, conjuntamente con la distribución espacial del patrón espectral. Puede verse que la neurona 15 rescata el patrón asociado al Pacífico Occidental y al Atlántico, mientras que la neurona 4 presenta un patrón relevante en el Pacífico Oriental. Es esta última neurona la que muestra mayor definición en los máximos espectrales. Puede verse gran similitud en los patrones, en especial el predominio de períodos en la escala de 9, 6 y 4.8 años. Sobre el Pacífico Ecuatorial esta periodicidad resulta más marcada, pero en el Atlántico Ecuatorial también está presente además de un máximo espectral en la escala de 25 a 30 años, que no fue considerado en la presente clasificación de patrones.

Figura 5-a. Espectro Blackman-Tukey caracterizado por la neurona 15 de la tercera capa

C: 3 N: 15 Y= 0.5280119 Mínimo: Máximo: 3

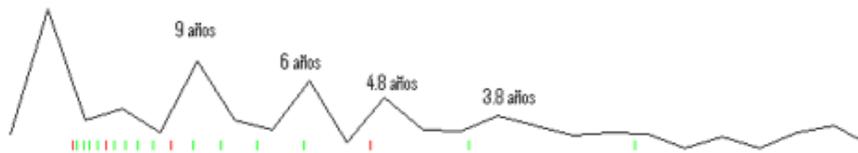


Figura 5-b. Espectro Blackman-Tukey caracterizado por la neurona 4 de la tercera capa

C: 3 N: 4 Y= 0.5271248 Mínimo: Máximo: 4

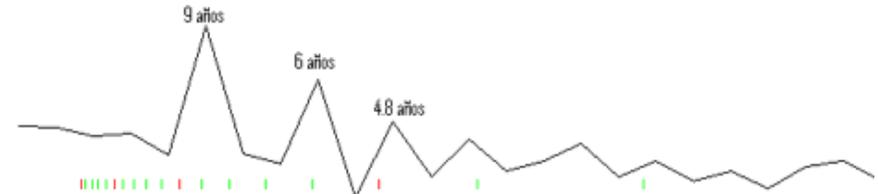
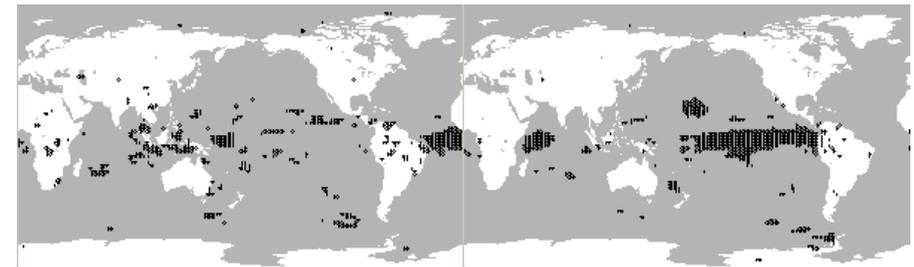


Figura 6. Distribución espacial del espectro asociado a la neurona 15 de la tercera capa (izquierda) y de la neurona 4 de la tercera capa (derecha)



En el siguiente espectro se muestra la estructura de variabilidad identificada por la neurona 6 de la segunda capa de la red, asociada con la neurona 15 de la tercera, y de la neurona 37 de la segunda capa de la red, asociada con la neurona 4 de la tercera capa. Geográficamente acotan regiones que caracterizan el Atlántico ecuatorial y el Pacífico occidental por una parte y el Pacífico Ecuatorial Occidental por la otra.

Figura 7-a. Espectro Blackman-Tukey caracterizado por la neurona 6 de la segunda capa

C: 2 N: 6 Y= 0.525382 Mínimo: Máximo: 4

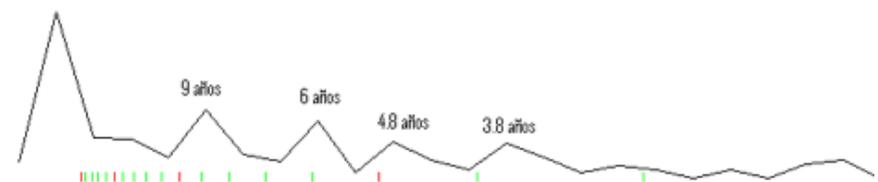


Figura 7-b. Espectro Blackman-Tukey caracterizado por la neurona 37 de la segunda capa

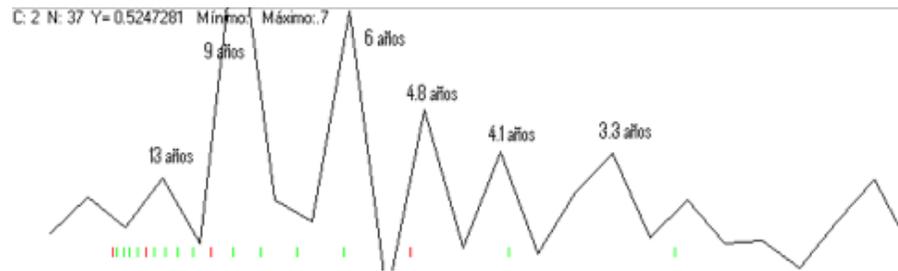
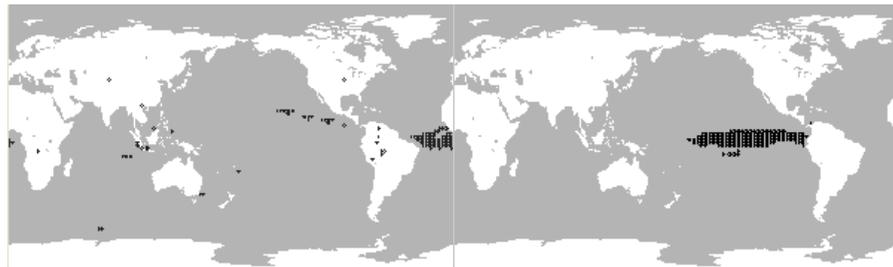


Figura 8. Distribución espacial del espectro asociado a la neurona 6 de la segunda capa (izquierda) y de la neurona 37 de la segunda capa (derecha)



En las figuras 9 y 10 se ve que es la neurona 39 de la capa uno, asociada con la 37 de la segunda capa, la que rescata la estructura principal de variabilidad del Pacífico Ecuatorial Oriental, conservando y destacando los máximos espectrales. La neurona 145 de la capa uno, ligada a la 6 de la capa 2, se vincula con el comportamiento ecuatorial en el Atlántico.

Figura 9-a. Espectro Blackman-Tukey caracterizado por la neurona 145 de la primera capa

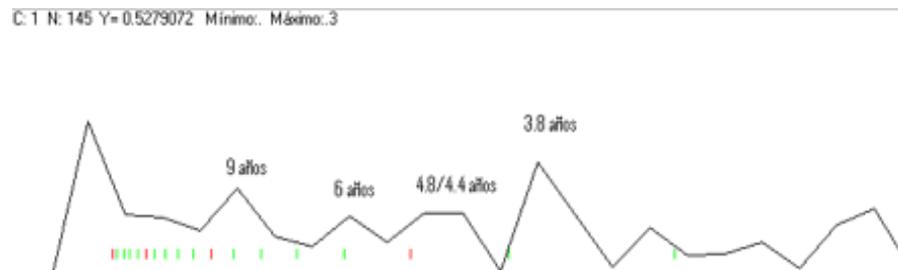


Figura 9-b. Espectro Blackman-Tukey caracterizado por la neurona 39 de la primera capa

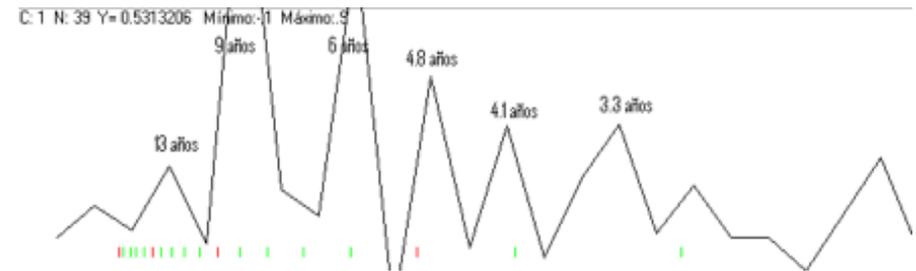
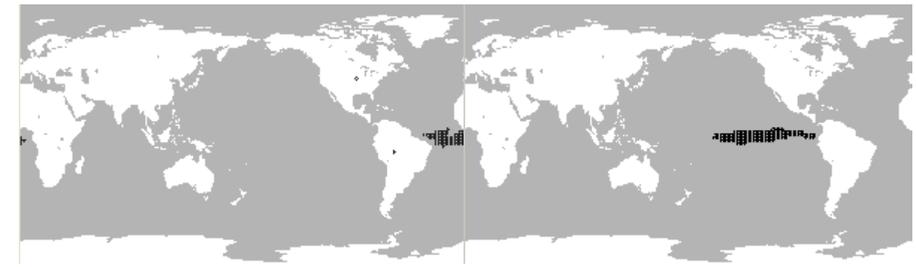


Figura 10. Distribución espacial del espectro asociado a la neurona 145 de la primera capa (izquierda) y de la neurona 39 de la primera capa (derecha)



En la figura 11 se muestra los patrones espectrales identificados en la tercera capa de la red. Las grandes regiones, identificadas por números, separan las neuronas vinculadas con las cuatro de la cuarta capa. Puede notarse que el patrón más definido es el de la neurona 4, vecinos de las neuronas 10, 15 y 7 y caracterizados por períodos de 9, 6, 4.8 años y menores, todas asociadas con la neurona 1 de la cuarta capa. Por otra parte, la neurona 2 caracteriza el patrón más uniforme y está individualmente asociada con la neurona 2 de la cuarta capa. Las neuronas 1, 8, 5, 13 y 12, asociadas con la neurona 3 de la cuarta capa, presentan un predominio de baja frecuencia en la que interviene en la clasificación el de 17/18 años, que claramente se identifica como dominante en las neuronas 12 y 13. Este período se encuentra presente también en las neuronas 6, 3 y 11, asociadas a la neurona 4 de la cuarta capa conjuntamente con las neuronas 16, 9 y 14, si bien en ellas se observa con mayor claridad el patrón registrado por la neurona 4, en especial en la 9 y la 16, mientras que en la 14 vuelve a manifestarse el largo período que excede la escala de clasificación utilizada.

En las neuronas de las capas más externas se diferencia el comportamiento del Atlántico Ecuatorial con respecto al Pacífico Ecuatorial. En el Atlántico destaca un período en la escala de 25 a 30 años aun cuando no fue considerado en la clasificación, mientras que en el Pacífico se observan períodos de 13 años, 4.1 y 3.3 años. El patrón espectral en latitudes medias y altas es complejo y quizá sólo en parte esté influenciado por la variabilidad en bajas latitudes o bien sólo es amortiguado el efecto de estas variabilidades considerando que lo que ocurre en bajas latitudes es motor de la variabilidad en la circulación atmosférica. En tal sentido es posible que no linealidades en el evento ENSO sean responsables de algunas de estas composiciones de períodos.

REFERENCIAS

- 1. Anderson, J. Redes Neurales. México, Alfaomega, 2007.
- 2. Björn A. - Amos W. Climate Zonation in Puerto Rico Based on Principal Components Analysis and an Artificial Neural Network. *Journal of Climate*, 12, Issue 4 (April 1999)
- 3. 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.
- 4. 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. PMID: PMC1790699
- 5. Hagan, M. - Demuth, H. - Beale, M. *Neural network Design*. EEUU, PWS Publishing Company, 1995
- 6. 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)
- 7. 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.
- 8. Martín del Brío, B-Sanz Molina, A. *Redes Neuronales y Sistemas Difusos*. México, Alfaomega, 2001.
- 9. Kandel, E.R. – Schwartz, J.H. – Jessell, Th. M. *Neurociencia y Conducta*. Madrid, Prentice May, 1997.
- 10. 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
- 11. Kohonen, T. *Self-Organizing Maps*. (3rd ed) Springer Series, 2001.
- 12. 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.
- 13. Rodgers, K.; Friederichs, P.; Latif, M. Tropical Pacific Decadal Variability and Its Relation to Decadal Modulations of ENSO. *Journal of Climate*. 17. 2003. pp.3761-3774.
- 14. 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
- 15. Turiasa, I. – González, M. – Galindo, P. A competitive neural network approach for meteorological situation clustering. *Atmospheric Environment*, 40, Issue 3, January 2006, Pages 532-541.
- 16. Vargas, W. – Huggenberger, D. Una clasificación de la lluvia en Cuyo desde una perspectiva global por medio de un mapa auto organizado de redes neuronales. Quinto Encuentro del "International Center for Earth Sciences" (E-ICES 5), Malargüe, Mendoza, Argentina, 24 al 27 de Noviembre de 2009.
- -World Meteorological Organization. Technical Note N°79. *Climatic Change*. Anexo 1. 1966.

Aplicación del modelo HYSPLIT a posibles escenarios de riesgo volcánico en el departamento de Malargüe

RESUMEN

La estructura y dinámica territorial del departamento de Malargüe que podría verse comprometida ante una eventual caída de cenizas del complejo Planchón-Peteroa es significativa, ya que se verían comprometidas las actividades socioeconómicas no solamente de la Cuenca alta y media del Río Grande sino la ciudad misma que alberga más del 80 por ciento de la población del departamento.

La posibilidad de contar con modelos de transporte y dispersión de cenizas volcánicas que permitan determinar algunos parámetros ante una eventual erupción (el alcance de la nube de cenizas, espesor de ceniza depositada, velocidad de traslación de la nube, etc.) contribuyen al planteo de diversos escenarios de riesgo potencial en el área que podría verse afectada por la pluma de cenizas volcánicas.

En este trabajo utilizamos el modelo de transporte y dispersión Lagrangiano HYSPLIT (HYbrid Single-Particle Lagrangian Integrated Trajectory; NOAA) con datos de campos meteorológicos de archivos GDAS (Global Data Assimilation System), Tomando como base la erupción del Peteroa de febrero de 1991, y teniendo en cuenta la optimización del modelo estudiando las erupciones del Chaiten del 2008, se modelaron eventuales erupciones en distintas épocas del año estudiando la dependencia de ciertos parámetros significativos para la actividad socioeconómica y su área de influencia.

INTRODUCCIÓN

El complejo Planchón-Peteroa se ubica a los 35° 15' de latitud sur y 70° 35' de longitud oeste, en la Cordillera de los Andes en el límite político argentino-chileno. Naranjo, Haller y otros (1999) [1] sostienen que la caída de tefra, es el peligro potencial de mayor probabilidad de ocurrencia.

M. E. Zitto (1),

A. Ramires (2),

R. Piotrkowski (1,3),

P. Canziani (4).

1 Facultad de Ingeniería, Universidad de Buenos Aires, Argentina

2 International Center for Earth Sciences, Complejo Planetario Malargüe, Malargüe

3 Universidad Nacional de General San Martín, Argentina

4 Pontificia Universidad Católica Argentina, Argentina

ezitto@gmail.com

Debido a la dirección de los vientos, ésta afectaría principalmente el lado argentino. La zona más afectada sería el sur de Mendoza, fundamentalmente el SE de Malargüe. En la última erupción de 1991, la columna de ceniza cubrió una zona de 80 Km de largo por 30 Km de ancho. Actualmente el Peteroa sigue mostrando una importante actividad volcánica visible a través de numerosas fumarolas lo que se puede inferir incluso con testimonios de los pobladores.

En una de las entrevistas realizadas a Doña Elsa Rosa Guajardo de 74 años y su hija Elisa del Carmen Suarez Arroyo Chenque-Co, Puesto El Durazno, entrevistada por Amalia Ramires y Eduardo Chamorro decía..., “yo me acuerdo que en el verano estuvo tirando como una ceniza amanecía blanco deben hacer como unos 20 años en el 90 por ahí, yo me acuerdo que tenía los chicos a la escuela (se refiere a la escuela Peregrina Cantos de Bardas Blancas) y una vez que los vine a buscar y venía el Río (hace mención al Río Grande) bien gris con esa ceniza que caía, era en tiempo de verano en febrero me parece que fue, febrero o marzo, ... el agua venía bien gris la gua, en la mañana amanecía así como una escarchilla, vio pero era una ceniza finita ...

En el relato, las puesteras comentan la presencia de tefras en uno de los recursos vitales de esta zona: el agua. Al respecto Naranjo y otros [1], expresan: “una erupción prolongada de cenizas podría afectar a la flora, fauna y ganado del lado argentino y afectar las aguas de Ríos Claro, Valenzuela y de su colector el Río Grande alterando la calidad del agua”. La estructura y dinámica territorial del departamento de Malargüe que podría verse comprometida ante una eventual caída de cenizas es significativa, ya que se verían comprometidas las actividades socioeconómicas no solamente de la Cuenca alta y media del Río Grande sino la ciudad misma que alberga más del 80 por ciento de la población del departamento.

Respecto del valle del Río Grande, los cambios relacionados con las inversiones en infraestructura vial, vinculada al Paso Internacional Pehuenche; generarán una nueva dinámica territorial relacionada con la aparición de nuevos flujos de transporte de mercancías y personas, además se espera en el mediano plazo la ejecución de la obra hidroeléctrica Portezuelo del Viento y proyectos relacionados con la explotación de recursos naturales que se sumarán a las actividades tradicionales de la región.

Transversal a estos procesos productivos actuales y potenciales de la región en estudio, subyace la más arraigada de las actividades, la ganadería de subsistencia, cuyo eje de desarrollo se materializa en los "puestos". La forma de apropiación, ocupación y los flujos de vinculación intra e inter territorial son los componentes que le dan sentido y significancia a esta actividad pastoril.

Estos nuevos y viejos contextos territoriales y sus lógicas de funcionamiento, deberán contemplar la gestión del riesgo volcánico para resguardar la vida de las personas, sus bienes, actividades, equipamientos e infraestructuras de la región.

Una contribución fundamental para realizar un análisis de diversos escenarios de riesgo en el área que podría verse afectada por este tipo de amenazas, es contar con modelos de transporte y dispersión de cenizas volcánicas que permitan determinar las características de su dispersión (el alcance de la nube de cenizas, espesor de ceniza depositada, velocidad de traslación de la nube, etc.) y determinar cuáles son los parámetros más significativos para determinar con la mayor precisión posible la dispersión de cenizas ante una eventual erupción. Uno de los programas más utilizados para modelar la dispersión de cenizas es el HYSPLIT desarrollado por la NOAA, que calcula trayectorias de partículas y dispersión de contaminantes emitidos por fuentes continuas o puntuales y en forma de partículas o puffs. Los datos meteorológicos que requiere el modelo pueden ser provenientes de archivos de datos meteorológicos (incluso de reanálisis) o de pronósticos meteorológicos en tiempo real.

MODELO DE DISPERSION HYSPLIT

El HYSPLIT (HYbrid Single Particle Lagrangian Integrated), provisto por el Laboratorio de Recursos Atmosféricos (Air Resources Laboratory – ARL) de la Administración Nacional Oceánica y Atmosférica (National Atmospheric and Oceanic Administration – NOAA) de Estados Unidos, es un sistema completo de enfoque Lagrangiano para el cálculo

de trayectorias de partículas simples en el aire, dispersión y simulaciones complejas de deposición. Aquí haremos una breve descripción del modelo, para una descripción completa ver [2] [3] [4].

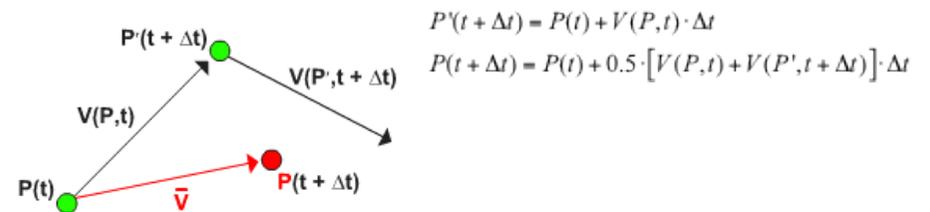
Datos Meteorológicos

Los datos meteorológicos utilizados en este trabajo se denominan GDAS (Global Data Assimilation System) provienen de archivos de bases de datos del NCEP (National Centers for Environmental Prediction). Los datos son globales y están organizados en 23 niveles verticales y valores en la superficie.

Cada nivel vertical es a una presión fija (hectoPascales) y tiene como datos los valores de velocidad horizontal del viento U y V en metros/seg, velocidad vertical W en hectoPascales/seg, temperatura absoluta y altura geopotencial. Los valores de superficie son la presión, temperatura y componentes horizontales del viento (a 10 metros sobre el nivel del suelo). La resolución espacial es de 1° latitud-longitud y la espacial de 3 horas.

Cálculo de Dispersión

La base de cualquier modelo Lagrangiano es que la dispersión se calcula siguiendo la partícula o puff independientemente de la advección, ésta se computa del promedio entre los vectores velocidad en la posición inicial $P(t)$ y la posición de primera aproximación $P(t + \Delta t)$.



Para el cálculo el usuario define previamente una malla de concentraciones independiente de la malla de datos meteorológicos (en este trabajo se tomó 0.05° lat-long), y el Δt se obtiene pidiendo que en cada paso las partículas se trasladen hasta, a lo sumo, un elemento de la malla vecino.

$$U_{\max} (\text{unid malla} / \text{min}) \times \Delta t (\text{min}) < 0.75 (\text{unid malla})$$

El proceso de dispersión es representado sumándole a la velocidad media una componente turbulenta:

$$X_{final}(t + \Delta t) = X_{medio}(t + \Delta t) + U'(t + \Delta t) \cdot \Delta t$$

$$\text{con } X_{medio}(t + \Delta t) = P(t + \Delta t)$$

$$U'(t + \Delta t) = R(\Delta t)U'(t) + U'' \cdot \sqrt{1 - (R(\Delta t))^2}$$

Las componentes de la velocidad turbulentas (U') en cada instante son calculadas a partir de las mismas en un instante anterior, un coeficiente de correlación (R) que depende de Δt , y una componente randómica (U'').

Para el cálculo de concentraciones se suman las contribuciones de cada partícula en cada elemento de la malla, la contribución a la concentración de una partícula de masa m , siendo para el modelo 3D - partícula la masa de la partícula dividido el volumen de cada elemento de la malla.

DISPERSION DE CENIZAS VOLCÁNICAS COMPLEJO PLANCHÓN-PETEROA Septiembre 2010

Para la erupción de septiembre de este año se realizaron distintas simulaciones y se compararon las salidas obtenidas con las imágenes del instrumento MODIS a bordo de los satélites TERRA y AQUA. Los parámetros y el método para el cálculo de las velocidades turbulentas fue optimizado en trabajos anteriores [5] [6], en este caso tomamos:

- Ubicación 35.24 °S – 70.57 °O
- Altitud sobre el nivel del mar 4100 m
- En todos los casos se supone una emisión de partículas de 4 μm de diámetro, 2 gr/cc de densidad y esfericidad 1.
- La altura de la columna eruptiva fue estimada por el Grupo de Monitoreo del Peteroa del ICES, mediante fotografías obtenidas de salidas a terreno a la zona afectada, vuelos y medición de la sombra de la imagen Landsat TM y del centro de avisos de cenizas volcánicas (VAAC) Buenos Aires.
- La velocidad de masa emitida fue estimada de los informes de vuelos y comparada con la erupción del Peteroa de febrero del 2001

Se realizaron simulaciones desde el comienzo de la actividad del Peteroa (4 de septiembre) con un tiempo de simulación de 4 a 5 días, variando la altura de la columna eruptiva de acuerdo a los informes de los vuelos, como ejemplo mostramos la salida del día 21 de septiembre y la imagen satelital del MODIS correspondiente con una longitud de la pluma de aproximadamente 40 Km Figura 1. En esta simulación se tomo una velocidad de emisión de masa de 105 Kg/seg continua sobre una columna de 0 a 100 mts por encima de la boca del volcán.

Asimismo se muestran ejemplos de simulaciones del día 04 y 23 de septiembre con el HYSPLIT y posteriormente digitalizadas mediante el uso de un SIG- Sistema de Información Geográfica, software ARCGIS 9.3. (Figuras 2 y 3), para conocer la dispersión y concentración de cenizas en el aire en el territorio del departamento de Malargüe, especialmente en el sector del valle alto y medio del Río Grande, donde se localizan unos 130 puestos ganaderos y pequeños núcleos urbanos – Las Loicas y Bardas Blancas- que prestan servicios básicos de salud, educación, seguridad, administración y comercio, cuya población es de 398 habitantes. (Estadística Área Departamental de la Salud Malargüe, 2010). En las referencias se indica los parámetros de emisión y la concentración de cenizas promedio en la vertical.

La simulación para el día 04 de septiembre de 2010 Figura 2, muestra una concentración de cenizas hacia el N-NW, siendo mayor la concentración ($> 5.0 \cdot 10^{-4} \text{ kg/m}^3$) en localidades chilenas limítrofes y menor en territorio argentino al norte del volcán, abarcando una franja cordillerana que comprende el norte de Malargüe y sur de San Rafael (al oeste de El Sosneado). El área principalmente afectada es la cuenca superior del Río Grande- arroyos Los Baños, Penón y Los Ciegos, afluentes del Río Valenzuela, subcuenca que nace en las inmediaciones del complejo volcánico, sector donde se localizan puestos de veranada dedicados a la cría de caprinos y bovinos, que se instalan en la zona a partir de diciembre hasta los primeros días de abril, no habiendo en el momento de la erupción pobladores ni ganado en esta área. La imagen MODIS registra para este día una pluma volcánica en dirección noroeste donde la parte superior es deformada por los vientos de altura; la parte afectada es estimada en 120 km² próximos al Peteroa.

Figura 1

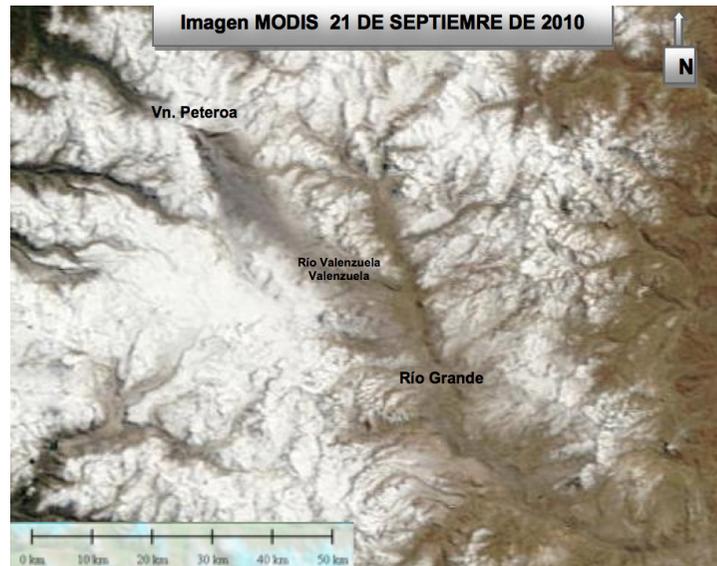
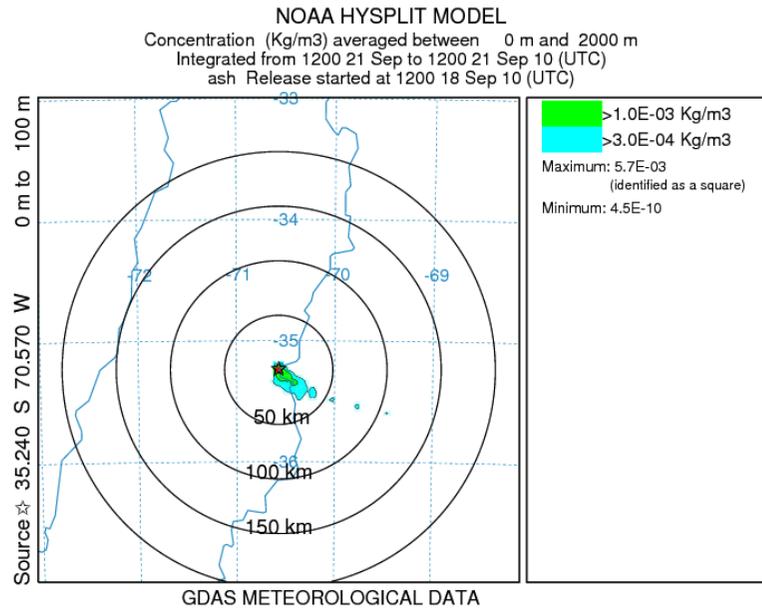


Tabla I

| Septiembre 2010 día 4 | | | | Mayo 2009 día 3 | | | |
|-----------------------|--------------|------------------|-----------|-----------------|--------------|------------------|-----------|
| Hora (UTC) | Presion (mb) | Intensidad (m/s) | direccion | Hora (UTC) | Presion (mb) | Intensidad (m/s) | direccion |
| 0 | 700 | 1.4 | 304° | 0 | 700 | 7.8 | 309° |
| | 650 | 4.9 | 159° | | 650 | 10.6 | 309° |
| | 600 | 10.2 | 173° | | 600 | 13.5 | 308° |
| | 550 | 16 | 164° | | 550 | 16.4 | 301° |
| 6 | 700 | 3.9 | 39° | 6 | 700 | 10 | 324° |
| | 650 | 2.9 | 97° | | 650 | 12.9 | 326° |
| | 600 | 4.8 | 142° | | 600 | 15.2 | 323° |
| | 550 | 7.9 | 149° | | 550 | 18.4 | 317° |
| 12 | 700 | 0.3 | 90° | 12 | 700 | 13.5 | 318° |
| | 650 | 1.4 | 180° | | 650 | 18 | 322° |
| | 600 | 3.6 | 206° | | 600 | 21.3 | 320° |
| | 550 | 4.1 | 222° | | 550 | 24.6 | 314° |
| 15 | 700 | 1.9 | 297° | 15 | 700 | 13.6 | 314° |
| | 650 | 2.8 | 270° | | 650 | 20.4 | 317° |
| | 600 | 3.9 | 255° | | 600 | 25 | 316° |
| | 550 | 4.8 | 260° | | 550 | 29.5 | 315° |

En las salidas de concentración de cenizas Figuras vemos que para el día 2 de mayo (Figura 5) 40hs de comenzada la emisión, la pluma llega a más de 150 Km y para el tercer día (Figura 6) que corresponde a la mayor intensidad de los vientos la pluma es angosta y la máxima concentración de cenizas llego hasta los 300km, considerablemente mayor a la alcanzada en septiembre de este año.

CONCLUSIONES

A pesar de la limitación del modelo por la resolución temporal y espacial de los datos meteorológicos, como ya se mencionó, la posibilidad de simular escenarios de riesgo por caída de tefras es de suma importancia, ya que contribuye a la gestión del riesgo volcánico, entendiéndose este concepto como la reducción de la vulnerabilidad de las principales actividades que existen en la región, en especial la ganadera por el impacto directo que pueden provocar las cenizas volcánicas en las pasturas y los cursos fluviales. Asimismo la simulación de escenarios frente a este tipo de amenazas se convierte en una herramienta clave para analizar el nivel de riesgo aceptable en proyectos de inversión que ya están desarrollándose en un sector de la cuenca del Río Grande.

Figura 5

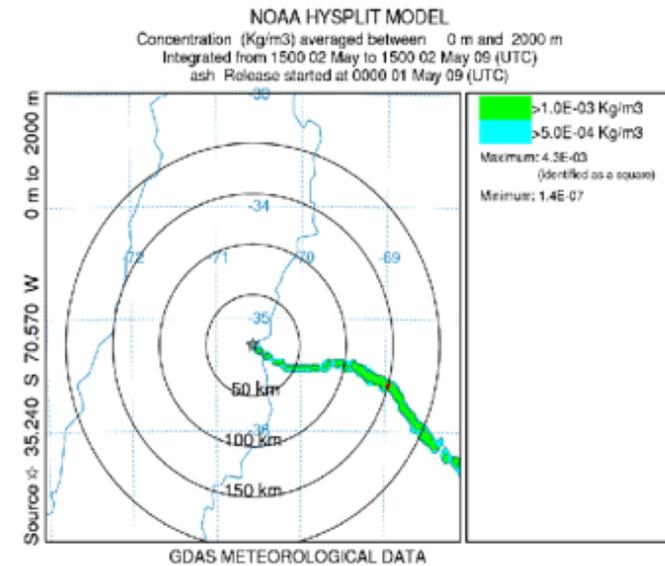
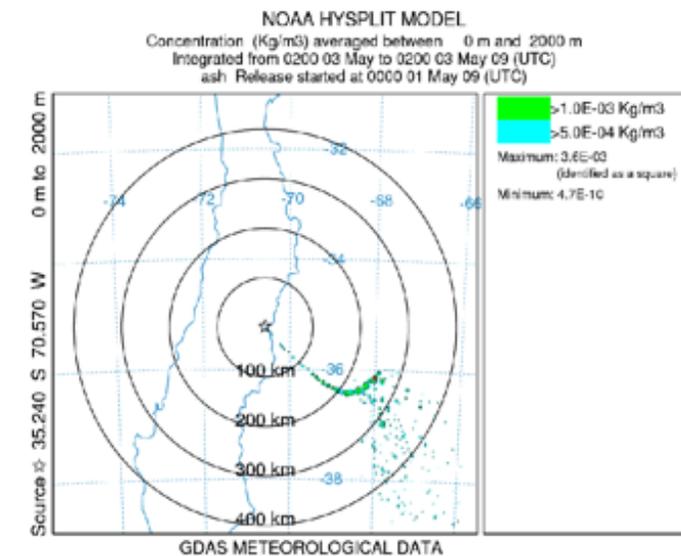


Figura 6



De las simulaciones realizadas se concluye que el modelo se ajusta mejor a las imágenes satelitales y observaciones cuando la pluma tiene una longitud mayor a 30 Km y no hay gran variabilidad en la dirección de los vientos. Para la deposición en el caso de esta erupción es difícil de cuantificar debido a que el espesor de ceniza acumulada es muy pequeño, solamente da una idea cualitativa de la zona en que se depositan las cenizas. Es importante notar que aún con una erupción de magnitud como la ocurrida este año, el alcance de la nube de cenizas podría llegar a ser de hasta 400 Km dependiendo de la magnitud de los vientos en el momento de la erupción.

Para mejorar el ajuste del modelo a emplear, se están estudiando la implementación de otros modelos de dispersión como el FLEXPART [7], además de anidar a los datos meteorológicos utilizados en este trabajo datos de vientos en altura proporcionados por el Servicio Meteorológico local.

Por último, ante una eventual erupción las simulaciones en tiempo real con datos de pronósticos meteorológicos permitirán predecir cuales serán las zonas afectadas y su grado de impacto. Para esto es fundamental obtener con rapidez los parámetros más significativos de la columna eruptiva en especial la velocidad de emisión y altura de la columna eruptiva.

Los autores agradecen los aportes para la validación del modelo del Dr. Miguel Haller.

REFERENCIAS

- [1] Naranjo, Haller, Ostera, Pesce, Sruoga, En Boletín N°. 52, "Geología y Peligros del Complejo Volcánico Planchón- Peteroa, Andes del Sur (35°15')", Región del Maule, Chile- Provincia de Mendoza, Argentina; Servicio Nacional de Geología y Minería; Chile 1999.
- [2] Draxler, R.R., and G.D. Hess, 1997: Description of the HYSPLIT_4 modeling system. NOAA Tech. Memo. ERL ARL-224, NOAA Air Resources Laboratory, Silver Spring, MD, 24 pp.
- [3] Draxler, R.R., and G.D. Hess, 1998: An overview of the HYSPLIT_4 modeling system of trajectories, dispersion, and deposition. Aust. Meteor. Mag., 47, 295-308.
- [4] Draxler, R.R., 1999: HYSPLIT4 user's guide. NOAA Tech. Memo. ERL ARL-230, NOAA Air Resources Laboratory, Silver Spring, MD.
- [5] M. Zitto, P. Canziani y R. Piotrkowski: Modelización de la dispersión de cenizas volcánicas y aerosoles sulfato en la erupción del volcán Chaitén, Poster E-ICES 4 (2008).
- [6] M. Zitto, P. Canziani y R. Piotrkowski: Aplicación del modelo HYSPLIT y variación de sus parámetros para la evaluación de dispersión de cenizas en una eventual erupción del Planchón-Peteroa E-ICES 5 (2009).
- [7] Stohl, A., C. Forster, A. Frank, P. Seibert, and G. Wotawa (2005): Technical Note : The Lagrangian particle dispersion model FLEXPART version 6.2. Atmos. Chem. Phys. 5, 2461-2474.

GLOSARIO

Puesto: asentamiento rural disperso, donde reside el puestero y su familia. Compuesto por la vivienda e instalaciones periféricas como galpones, gallineros, horno, palenque, pozo de agua, corrales, potrero y el campo para el pastaje del ganado.

Puestero: se utiliza el concepto de Comunidad Nativa, para caracterizar al puestero de la región, entendiéndose la misma, como una unidad socioeconómica estable, vinculada con un determinado espacio territorial, un tipo de asentamiento nuclear, semidisperso o disperso, que se auto reconoce como comunidad y se diferencia de otras unidades socioeconómicas vecinas, sean nativas o no. Eric-M. Gruénais "Quois ethnies pour quoi anthropologie", L'Homme, París, 1986

Invernada: área de residencia de la familia puestera o criancera, habitada generalmente entre fines de abril y noviembre, ubicada en zonas bajas (planicies, mesetas, valles bajos) de la región. Implica una apropiación selectiva y diferencial del territorio y se basa en necesidades materiales concretas como inmateriales por lo que se la considera una construcción social de territorio.

Veranada: espacio de residencia temporaria del puestero o criancero. Implica un desplazamiento histórico, socioeconómico y estacional que realizan los puesteros o crianceros todos los años entre diciembre y abril desde las zonas más bajas hacia áreas de la alta cordillera. Implica una apropiación selectiva y diferencial del territorio en términos de receptividad ganadera. Esta movilidad se basa en necesidades materiales concretas como inmateriales por lo que se la considera una construcción social de territorio.

El presente es la clave de los hechos del pasado: una patología actual evidenciada hace 228 millones de años

MARCO TEÓRICO

A un año del bicentenario del nacimiento de Charles Darwin, y a 151 años de su obra "El origen de las especies", la cual se basó en la Teoría Uniformista de Hutton, se expone un hallazgo paleontológico revalorizado y reformulado en el contexto histórico y teórico en el que se erigió la Teoría Uniformista.

Dos grandes aportes que hizo Darwin a la ciencia del siglo XIX fueron: su demostración de un proceso histórico mediante el cual aparecían nuevas formas de vida a partir de otras por cambios graduales, y su hipótesis sobre el mecanismo que determina dichos cambios, la Selección Natural (Mayr, 1982). Ambas propuestas implican tiempos de carácter geológico, es decir millones de años, fue Darwin el primero en proponer que la edad de la Tierra era de "varios millones de años", con esto podría darle un contexto temporal lógico a su explicación de los cambios graduales de las especies. Así, en su primera edición de "El origen de las especies" estimó que desde el fin del Mesozoico hasta la actualidad habían pasado unos 300 millones de años. Darwin había leído a Hutton y Lyell, y se basó en las hipótesis de estos para proponer las suyas.

Los estudios de Hutton y Lyell propuestos durante finales del siglo XVIII y principios del XIX son los promotores del concepto de edad relativa de las rocas y del uniformismo. En 1788, la Royal Society de Edinburgh publicó "Theory of the Earth; or an Investigation of the Laws Observable in the Composition, Dissolution, and Restoration of Land upon the Globe", de James Hutton y en el año 1833 "Principles of Geology" de Charles Lyell. En general la propuesta uniformista, erigida por Hutton y seguida por Lyell, tiene la premisa "la clave para descifrar el pasado reside en el presente". Esta proposición hace referencia a que los procesos acontecidos en el pasado geológico, llámense cambios entre especies o depositación de estratos de rocas, ocurrieron de la misma manera que se suceden en el presente.

Trotteyn, M. Jimena (1,2),

Apaldetti, Cecilia (1,2).

1 Museo de Ciencias Naturales, España 400 (N), 5400, San Juan, Argentina.

2 CONICET

jtrotteyn@unsj.edu.ar

Con base en esta añosa hipótesis, se presenta una paleopatología hallada en un resto fósil de 228 millones de años dilucidada mediante observación de casos actuales.

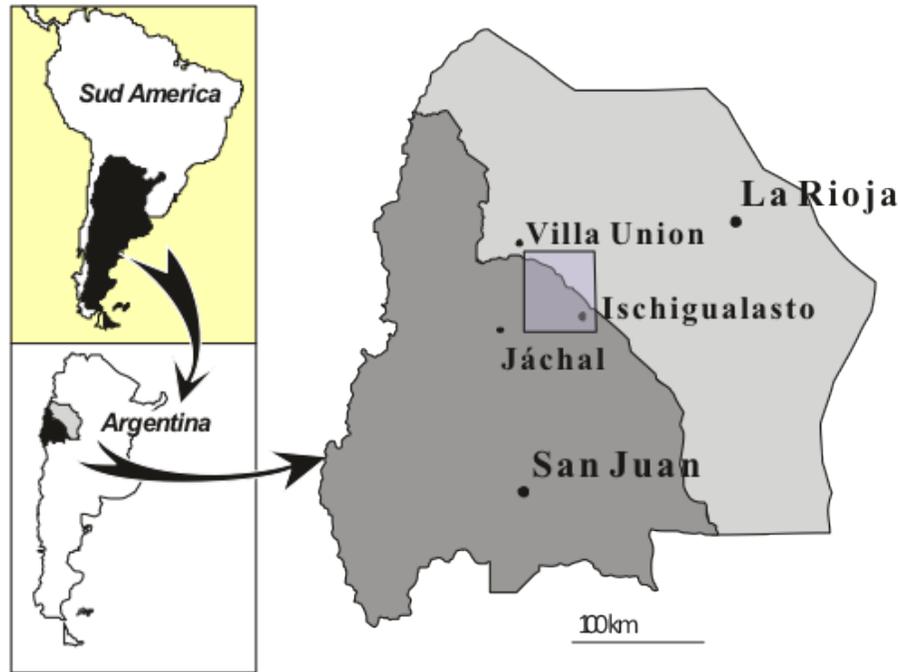
El resto fósil al cual se hace referencia es un rincosaurio adulto, herbívoro de talla media, proveniente de la Formación Ischigualasto, Noreste de la provincia de San Juan.

ZONA DE PROCEDENCIA DEL MATERIAL

El material de estudio que se utilizó para el presente trabajo corresponde a un espécimen de Hiperodapedon sanjuanensis (PVSJ 679) colectado en la Cuenca "Ischigualasto-Villa Unión", dentro del Parque Provincial Ischigualasto (Figura 1). Este Parque natural está ubicado en el Departamento de Valle Fértil, al noreste de la Provincia de San Juan, en el límite entre las Provincias de San Juan y La Rioja.

La cuenca "Ischigualasto-Villa Unión" se caracteriza por una secuencia estratigráfica in-interrumpida desde el Triásico Superior al Inferior y en ella se encuentra la Formación Ischigualasto. La Formación Ischigualasto corresponde a la edad Carniana, datada en sus niveles basales en 228,3 millones de años (Rogers et al., 1993). El área de mejor exposición se presenta en la zona llamada "Valle de la Luna", la cual corresponde a los afloramientos más australes de la Formación. Los sedimentos corresponden a un ambiente aluvial, con desarrollo de extensas planicies de inundación, caracterizado por un clima de tipo monzónico, con alternancia de épocas de lluvia y sequías estacionales (Colombi, 2001).

Figura 1. Mapa de ubicación de la Cuenca Ischigualasto-Villa Unión



CARACTERÍSTICAS PALEONTOLÓGICAS

Una de las características más relevantes de la Formación Ischigualasto, es el hallazgo de numerosos esqueletos completos o parciales, en la mayoría de los casos articulados, lo cual indicaría que los restos son encontrados in situ. Otro rasgo importante de la mayoría de los fósiles provenientes de la Formación, es la ausencia de marcas producidas por largos períodos de exposición a los agentes climáticos en su etapa pre-enterramiento. Esta característica, sumada al grado de articulación indicarían un rápido enterramiento, proceso que no habría dejado tiempo a la intemperización, ni a los carroñeros para desatar los procesos típicos de aquellas circunstancias (Martínez, 1994).

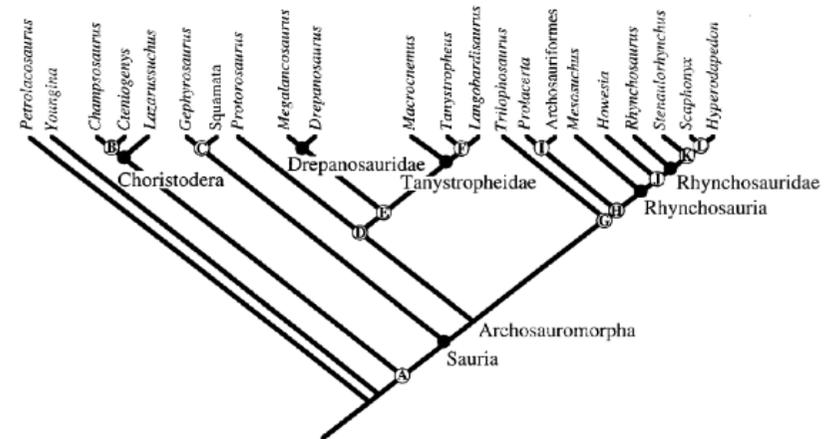
Cabe destacar que la importancia fundamental de esta Formación radica, no sólo en su riqueza faunística en cantidad y diversidad, sino también en que sus sedimentitas albergan el período depositacional en el que aparecen los primeros dinosaurios (Serenó et al, 1993).

LOS RINCOSAURIOS. GENERALIDADES

Ubicación filogenética

Owen (1842) describe por primera vez un reptil que denomina "rincosaurio", debido a sus premaxilares verticalizados en forma de pico. Paul Gervais (1869), zoólogo francés, fue el primero en reconocer a los rincosaurios como un grupo diferenciado dentro de los reptiles, proponiendo a estos como la familia "Rinchosaures". Posteriormente Cope (1870), latiniza este nombre como "Rhynchosauridae", y finalmente Osborn (1903), propone que todos los rincosaurios encontrados forman parte de Rhynchosauria, incluyéndolos dentro del grupo de los reptiles diápsidos. Finalmente, Benton (1984), proporciona una serie de argumentos a favor de la inclusión de estos reptiles entre los arcosauromorfos, posición que se mantiene en la actualidad (Figura 2) (Dilkes, 1997).

Figura 2. Ubicación filogenética de Rhynchosauria entre los arcosauromorfos. Modificado de Dilkes 1997.



Descripción morfológica general

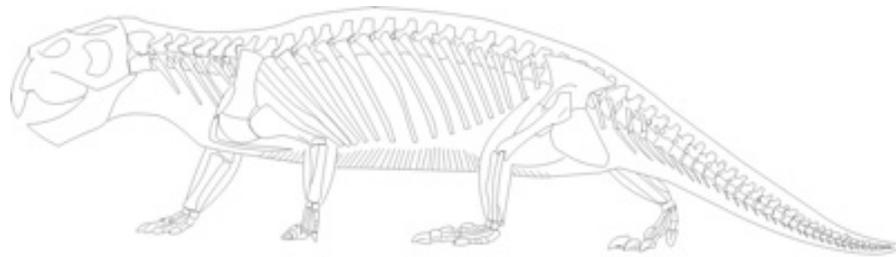
Los rincosaurios presentan una construcción osteológica masiva tanto en su región craneal como poscraneal (Figura 3). Entre las características morfológicas de los rincosaurios se observa la forma triangular de su cráneo y la particular forma que tienen sus premaxilares en forma de pico (Sill, 1970). Los premaxilares generan un contorno triangular de las narinas externas, y las órbitas se presentan en posición dorsal, limitadas anteriormente por prefrontales con bordes rugosos.

En vista palatal puede verse un par de placas dentarias triangulares, estriadas en su línea media. Estas hileras de dientes se ubican en placas dentarias, presentándose la parte posterior de las mismas alojadas en una cavidad generada en el yugal (Sill, 1970).

Los componentes óseos de los miembros anteriores y posteriores de los rincosaurios en general, son muy robustos y columnares. En particular, es interesante la rotación que presenta el húmero a lo largo de su eje longitudinal, pues da una idea de la posición que adoptaban los rincosaurios para la locomoción. Las manos poseen cinco dedos, siendo los dos primeros los más gruesos, más largo el tercero y el quinto más corto (Sill, 1970). Los pies de los rincosaurios presentan tres tarsales proximales, cuatro tarsales distales y cinco dígitos (Huene, 1942). Los dígitos I y II se caracterizan por las falanges unguales grandes, altas y comprimidas en forma de cuchillo. El resto de los dígitos son de construcción liviana, siendo el III el más largo (Sill, 1970).

La cola de los rincosaurios es gruesa y larga para algunas especies como *Noteosuchus* (Carroll, 1976), presentándose corta para las formas más tardías (Huene, 1939a, 1942; Benton 1983, 1990). Sin embargo, esta condición puede ser exclusivamente preservacional, pues los últimos hallazgos en Madagascar e Ischigualasto muestran que las colas podrían haber sido largas (Wathley y Martínez, com. pers.).

Figura 3. Reconstrucción del esqueleto de un rincosaurio (tomado de Benton, 1984)



Rol paleoecológico

Los rincosaurios son el principal constituyente de la fauna de vertebrados que se desarrolló en la primera mitad de la historia depositacional de la Formación Ischigualasto (Martínez, 1994; Martínez et al., 1995 a,b).

Es importante su condición de herbívoros dominantes, ya que los posiciona como el eslabón más importante en la cadena trófica, que vincula la base de la cadena con los grandes carnívoros. Los rincosaurios experimentaron una rápida diversificación durante el Triásico Medio, y durante el Carniario constituyeron uno de los eslabones tróficos más importantes, pues fue cuando se establecieron como los herbívoros que dominaron en la mayoría de las paleocomunidades en las que estuvieron presentes (Martínez, 1994; Martínez et al, 1995a,b; Langer, et. al., 2000). El papel ecológico de los rincosaurios está visto como el rol típico de vertebrados herbívoros, los cuales podrían haberse alimentado de rizomas (Huene, 1939 b), semillas de cícadas (Romer, 1960, 1962) o frutos (Sill, 1971). Sin embargo, algunos autores especulan con una posible dieta malacófaga (Chatterjee, 1974), e inclusive con formas carnívoras e insectívoras (Lydekker, 1885). Azevedo (1987) propone que los rincosaurios podrían haber mascado los vegetales, para extraer algún tipo de jugo, o para la maceración de brotes carnosos.

Entre algunos de los aspectos ecológicos importantes de una especie, puede citarse su comportamiento, como los mecanismos utilizados por las presas para escapar de sus predadores, los cuales van desde los más sencillos hasta los más complicados y sutiles. Pianka (1982), cita como ejemplos etológicos a la mayoría de los lagartos, los cuales excavan túneles, y forman un sistema de galerías que les permiten huir y esconderse de sus predadores. La contraparte paleontológica de la cita anteriormente mencionada es la que sugiere hábitos subterráneos para los rincosaurios (Heredia et al, 2002), trabajo en el cual se propone tal comportamiento en base al hallazgo de un conjunto de rincosaurios juveniles en una cueva.

PALEOPATOLOGÍA

Introducción y antecedentes

La paleopatología es el estudio de las enfermedades y lesiones que han sufrido los animales que hoy encontramos en el registro fósil (Tanke, 1997). Este es un campo de estudio que requiere la participación activa de diferentes disciplinas, como la paleontología, veterinaria, medicina y biología, entre otras. En su comienzo, el estudio de las paleopatologías sólo estaba dirigido a los fósiles humanos, pero luego se empezaron a divulgar trabajos sobre otros vertebrados. La primera enfermedad ósea, definida como tal en un fósil, se documentó y describió en 1838, antes de que se acuñara el término Dinosauria (el cual se estableció luego de 1841).

Esta patología, definida como una fusión vertebral, fue estudiada por Eudes-Deslongchamps, en un dinosaurio terópodo del género *Poikilopleuron* (Eudes-Deslongchamps, 1838). Más adelante, la paleopatología se hizo más abarcativa e incluyó en sus conclusiones las ventajas o desventajas que podría traer consigo una enfermedad determinada (Rothschild y Tanke, 1992) En uno de sus aspectos más abarcativos, la paleopatología se ocupa de estudiar cual es el rol que juega el patrón de conductas para favorecer, o no, ciertas condiciones patológicas. Entre estos trabajos puede nombrarse el de Rothschild y Tanke (1992), en el cual proponen, entre otras importantes conclusiones, que aquellos dinosaurios seriamente afectados por una determinada patología, tal como sucede en los hadrosaurios o ceratópsidos, pudieron ser ignorados por otros animales de la misma manada, sin recibir ningún tipo de cuidado por parte de sus pares. Situación distinta es la que proponen estos autores para mamíferos extintos, entre los cuales se habría desarrollado algún tipo de cuidado por parte de los miembros sanos del grupo, alimentando y protegiendo al individuo afectado (Rothschild y Tanke, 1992).

DESCRIPCIÓN DE LA DISPLASIA COXOFEMORAL

Antecedentes

En lo que respecta a las patologías óseas actuales, una de las más estudiadas, tanto en el ámbito de la ciencia médica, como en veterinaria, es la displasia de cadera o displasia acetabular. El término “displasia de cadera” significa “falla en el desarrollo de la cadera”, dicha enfermedad fue descrita en por Schenelle (1964). Otra definición más amplia es “un grado variable de laxitud de la cadera, que permite la subluxación del fémur durante la etapa inicial de la vida, originando un grado variable de pérdida de la profundidad acetabular, aplanamiento de la cabeza femoral, alcanzando inevitablemente la artrosis” (Schenelle, 1964).

La displasia de cadera se ha estudiado en más de 150 razas caninas estando presente en la mayoría de ellas (Larsen y Corley, 1972; Corley, 1983; Corley y Hogan, 1985), y presentando su mayor frecuencia en razas de talla mediana a grande, con crecimiento rápido (Priester y Mulvihill, 1972; Lust et al., 1973; Freudiger et al., 1973; Corley, 1987; Kealy et al., 1992).

En particular, la mayoría de los estudios referidos a esta patología están dirigidos a los canes domésticos, sumado esto a la condición cuadrúpeda de los mismos, es que se tomaron aquí como referencia para evaluar una posible osteopatología.

El origen de la displasia de cadera es multifactorial. Muchos autores han propuesto que el curso de esta enfermedad está influenciado por la tasa de crecimiento del animal (Lust et al., 1973; Hedhammer et al., 1974; Lust y Farrel, 1997); el peso corporal (Kealy et al., 1997); y el patrón de ejercicios, entre otros factores de carácter ambiental (Riser y Larsen, 1974), sin dejar de lado los causales genéticos que pudiesen estar presentes. En 1969, Kelly y Zacks postularon que la causa subyacente de la displasia en personas y perros era la inestabilidad coxofemoral. Posteriormente se sugirió que ésta es una enfermedad biomecánica, que representa una disparidad entre la masa muscular primaria y el crecimiento de la estructura ósea. En ese estudio se propuso que el desarrollo normal del músculo hasta alcanzar la madurez, coetáneo con el crecimiento de los elementos esqueléticos, produce que una articulación mayor (como la cadera) sea traccionada. En contrapartida, en una situación anormal, la ausencia de soporte muscular posibilita la subluxación de la cabeza femoral y el acetábulo, disparando una serie de eventos que concluyen en la displasia acetabular.

En pautas generales, esta patología aparece en los estadios más tempranos de desarrollo y se acentúa durante toda la vida, desencadenando una osteoartrosis articular secundaria en el animal adulto (Kelly y Zacks, 1969).

Uno de los primeros eventos que ocurre, es la subluxación de la cabeza femoral, y como consecuencia de esto, la cabeza del fémur no tiene una congruencia normal con el acetábulo, se pierde el líquido sinovial y luego se atrofia la articulación. Este proceso culmina con la pérdida del tejido cartilaginoso que protege a los elementos óseos del roce entre sí. Cuando se produce el contacto entre ambas estructuras óseas directamente, el hueso se torna esclerótico por presión mecánica excesiva, lo cual produce gran dolor y la consecuente limitación en el movimiento del miembro afectado. Se pierde entonces la función normal de la articulación, imposibilitando la carga del peso del cuerpo y la transmisión el impulso del desplazamiento al tronco. Ante la situación anteriormente descrita, el resto del cuerpo trata de compensar dichos procesos desequilibrantes, y desplaza el centro de gravedad, cargando el peso del cuerpo en las otras patas. Como consecuencia, las estructuras óseas de todo el cuerpo se ven afectadas y pierden su forma normal. Esto se ve reflejado en el diámetro del cuello del fémur, en la angulación anómala de las zigapófisis del sacro y de las vértebras dorsales y en la presencia de estructuras típicas de zonas con presión mecánica excesiva, llamadas osteofitos y geodas que se describen más adelante (Morales Janaver, com. pers.)

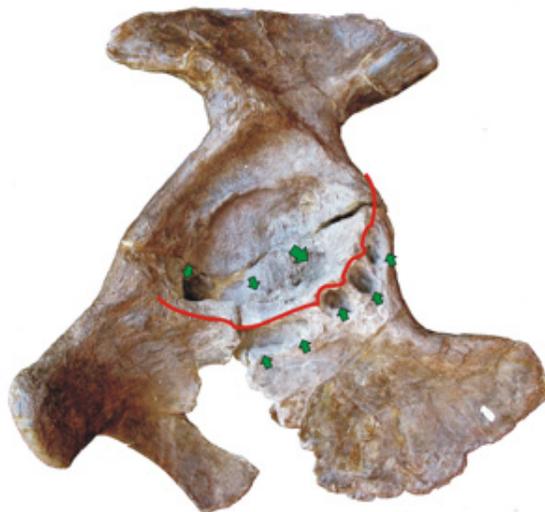
RESULTADOS

Es importante mencionar que el estado de preservación del ejemplar en estudio (PVSJ 679) es excelente, por lo tanto han sido excluidas causas preservacionales que pudiesen confundirse con procesos paleopatológicos. Por otro lado, el grado de deformación es ínfimo al punto que ambos lados de la pelvis y los elementos de las patas tienen un contacto neto totalmente armónico y articulado.

En el borde posteroventral del acetábulo izquierdo de este ejemplar, se observan evidencias de tejido óseo esclerosado y oquedades; estructuras llamadas osteofitos y geodas respectivamente (Figura 4). Sobre la superficie interna del hueso púbico, que conforma la cavidad acetabular se observa una gran oquedad. En la misma porción de ese elemento óseo se observa la formación de osteofitos.

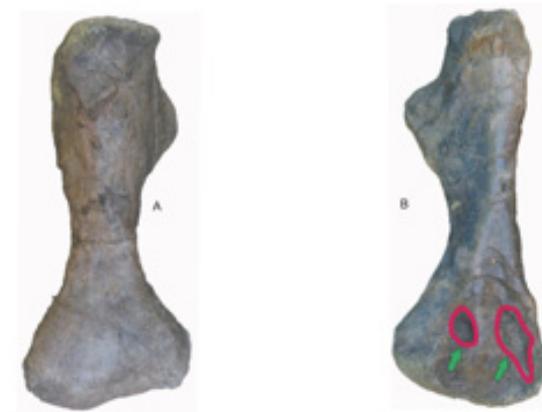
Las estructuras típicas de la displasia encontradas en los elementos púbicos antes mencionados, no presentan gran desarrollo en el ilion, pero sí puede observarse aquí una marcada disminución del borde del acetábulo, con la consiguiente pérdida de profundidad en esta cavidad (Figura 4).

Figura 4. Vista lateral de pelvis izquierda de PVSJ 679 mostrando osteofitos (línea roja) y geodas (flechas verdes) producto de la displasia coxofemoral.



En el fémur afectado se observa una disminución del ancho de la cabeza, tanto en sentido anteroposterior, como en el plano dorsoventral (Figura 5). Aquí también pueden observarse osteofitos sobre toda la superficie de la cabeza femoral. El trocánter interno se encuentra adelgazado y con menor desarrollo general, el diámetro del cuello femoral está disminuido y los cóndilos del fémur afectado presentan osteofitos en toda su superficie.

Figura 5. Fémur derecho (A) e izquierdo (B) del PVSJ 679 mostrando las diferencias entre el miembro sano y el afectado. Osteofitos en línea roja y geodas con flechas verdes.



En lo que respecta a las vértebras, puede observarse una angulación anómala en las zigapófisis de las vértebras dorsales (Figura 6). También se observa tejido óseo esclerosado sobre los bordes del cuerpo vertebral, los cuales generan un borde continuo de osteofitos.

En la vértebras sacras existe una angulación diferencial de las zigapófisis, y se presenta un desplazamiento del centro del cuerpo vertebral de las mismas (Figura 7). Estos rasgos se ven evidenciados en la marcha por un desplazamiento del centro de gravedad del animal, lo cual lleva a la ejecución del "salto de conejo" (Dr. Enrique Morales Janavel, com pers). La marcha "en salto de conejo", presente en los animales adultos con displasia de cadera, es la solución para que exista un menor rango de movimiento de los miembros pélvicos afectados (Morgan et al, 2001).

Figura 6. Vista anterior de una vértebra dorsal de PVSJ 679 mostrando la angulación diferencial de las zigapófisis.

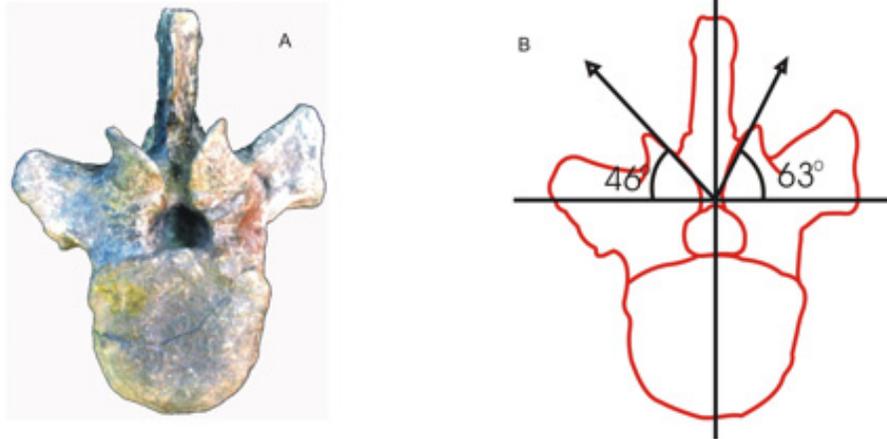
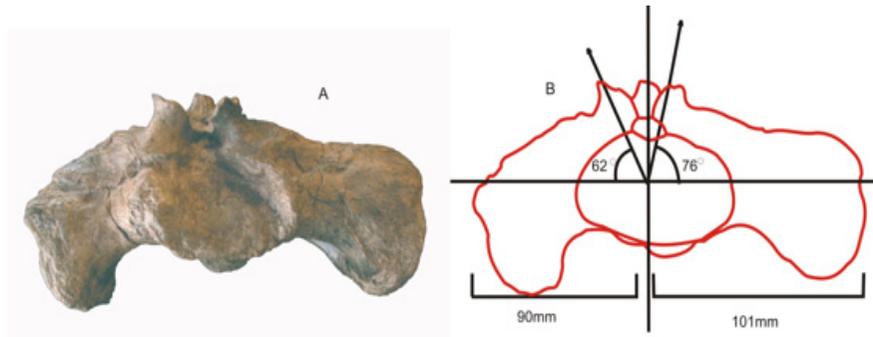


Figura 7. Vista anterior de las vértebras sacras de PVSJ 679 mostrando la angulación anómala de las zigapófisis y la diferencia de longitud entre las costillas sacras.



DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Con base en la descripción del ejemplar fósil (PVSJ 679) y en vista que los rasgos óseos que el mismo presenta concuerdan con los caracteres referidos a la displasia coxofemoral, se postula que el ejemplar presenta una displasia de cadera de grado avanzado.

El grado de avance de la enfermedad indica que el ejemplar tenía un andar denominado "claudicación de cuarto grado", estado en el cual se deja de apoyar el miembro afectado, desplazando el centro de gravedad y cargando el peso del cuerpo sobre las otras patas (Morgan et al, 2001). En los canes, el paso en "salto de conejo" es posible debido a que éstos tienen la posibilidad de elevar el miembro afectado y llevarlo en el aire durante la marcha. En los reptiles la ubicación del acetábulo es lateral, si a esto se suma la gran masividad que presentan los elementos óseos de los rincosaurios, entonces se hace evidente que mantener al miembro enfermo en el aire requeriría de un gran esfuerzo. Por lo tanto, existe mayor probabilidad de que dicho miembro fuese arrastrado por el animal. En lo referente al aspecto del modo de vida de los rincosaurios, es importante mencionar que las relaciones predador/presa pueden visualizarse como dinámicas y dialécticas, actuando en direcciones opuestas (Pianka, 1982). Además, si determinadas patologías han podido actuar sobre el modo de locomoción de un animal, entonces éste debe haber generado estrategias que le permitieran sobrevivir al ataque de los predadores, a pesar de su patología. En base a lo anteriormente expuesto se infiere que estos herbívoros podrían haber presentado hábitos con algún grado de comportamiento grupal, posibilitando así una vida prolongada a los animales afectados.

En este estudio se obtienen dos conclusiones: la determinación de una displasia coxofemoral y la inferencia del modo de vida de los rincosaurios. Para llegar a confirmar el primer postulado se utilizó el conocimiento de una enfermedad que actualmente afecta a los canes, y se la comparó con el material estudiado (PVSJ 679). Para inferir el segundo postulado se utilizaron observaciones etológicas citadas para especies actuales y se la extrapoló al hecho ocurrido durante el Triásico con el fin de darle una explicación plausible a la evidencia observada (Figura 8 y 9).

De esta manera la Teoría Uniformista inicialmente propuesta para procesos geológicos, y luego utilizada por Darwin para explicar sus ideas evolucionistas, se aplicó a un hecho puntual acontecido durante el pasado geológico, el cual pudo explicarse mediante observaciones de factores y procesos actuales.

Figura 8. A: esquema y Rayos X de un can con displasia coxofemoral. B: comparación de ambos lados de la cadera de PVSJ mostrando los rasgos de la displasia coxofemoral

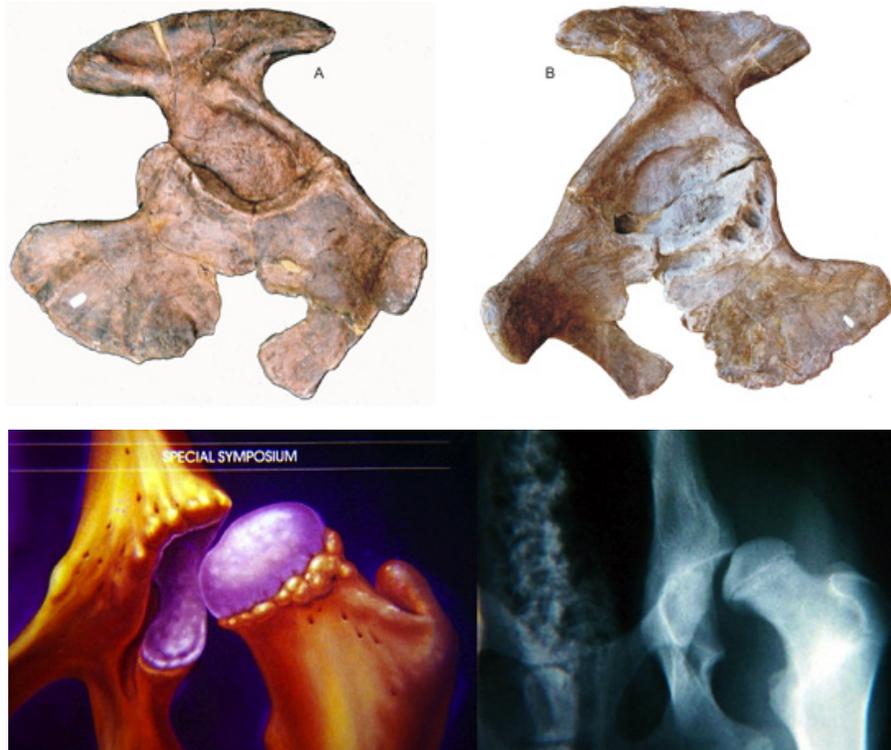


Figura 9. A: comportamiento agrupado de reptiles actuales. B: reconstrucción de un rincosaurio adulto acompañado por sus crías entrando en una cueva, evidenciando comportamiento agrupado entre rincosaurios (tomado de la Muestra "Titanes de Ischigualasto" 2009)



BIBLIOGRAFÍA

- Azevedo, S.A.K. 1987. *Scaphonyx sulcognathus* sp. nov., um novo rincossaurídeo noetriássico do Rio Grande do Sul, Brasil. Anais do X Congresso Brasileiro de Paleontologia, Rio de Janeiro.
- Benton, M. J. 1983. The Triassic Reptile *Hyperodapedon* from Elgin: functional morphology and relationships. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London, Series B*, 302: 605-717.
- Benton, M. J. 1984. The relationships and early evolution of the Diapsida. In: Ferguson, M. W. J. (ed). *The Structure, Development, and Evolution of Reptiles*. Symposia of the Zoological Society of London, 52: 575-596.
- Benton, M. J. 1990. The species of Rhynchosaurus, a rhynchosaur (Reptilia, Diapsida) from the Middle Triassic of England. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London, Series B*, 328: 213-306.
- Carroll, R. L. 1976. *Noteosuchus*- the oldest known rhynchosaur. *Annals of the South African Museum*, 72 (3): 37-57.
- Chatterjee, S. 1974. A rhynchosaur from the Upper Triassic Maleri formation of India. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London, Series B*, 267: 209-261.
- Colombi, C. E. 2001. *Arquitectura aluvial y tafonomía de Paleovertebrados en un sector basal de la Formación Ischigualasto*, San Juan. Tesis de Licenciatura. Inédita. Universidad Nacional de San Juan.
- Colombi, C.E., 2001. *Arquitectura aluvial y tafonomía de Paleovertebrados en un sector basal de la Formación Ischigualasto*, San Juan. Tesis de Licenciatura. Universidad Nacional de San Juan. Inédita
- Cope, E. D. 1870. On the structural Characteristics of the Cranium in the lower Vertebrata (Reptiles, Batrachia and Fishes). *The American Naturalist*, 4: 226-243.
- Corley, E. A., 1983. *Hip dysplasia; a monograph for dog breeders and owners*. OFA, Columbia Mo.
- Corley, E. A. 1987. *Hip dysplasia; a report from the orthopedic foundation for animals*. *Seminars in Vet Med and Surg (SA)* 2: 141-151.
- Corley, E. A; y Hogan, P. M. 1985. Trends in hip dysplasia control: analysis of radiographs submitted to the orthopedic foundation for animals, 1974 to 1984. *JAVMA* 187: 805-809.
- Dilkes, D.W. 1997. The Early Triassic rhynchosaur *Mesosuchus browni* and the interrelationships of basal archosauriform reptiles. *The Royal Society London*, 353, 501-541
- Eudes-Deslongchamps, J. A. 1838. *Memoire sur le Poekilopleuron bucklandi*, *Gend Saurien Fossile, Intermediare Entre les Crocodiles et les Lezards*. *Mem. Soc. Linn. Normandie*. VI, 37-146.
- Freudiger, U.; Schäfer U.; Buser, J-C; y Mühlebach, R., 1973. Die Resultate der Hüftgelenksdysplaise-Bekämpfung beim D. Schäferhund in der Zeit von 1965 bis 1972. *Schweiz Arch Tierheilkd* 115: 169-173.
- Gervais, P. 1869. *Zoologie et paléontologie française*. 2ed. Paris 544p.
- Hedhammer, Å; Wu, F.; Krook, L; Schryver, H. F.; Delahaunta A.; Whalen J. P.; Kallfelz F. A.; Nunez E. A.; Hintz, H. F.; Sheffy, B. E.; y Ryan G. D., 1974. Overnutrition and disease. An experimental study in growing Great Dane Dogs. *Cornell Vet* 64 (Suppl 5).
- Heredia, G. J.; Alcober, O. A. ; Martínez, R. N. y Colombi, C. E. 2002. Evidencias de Gregarismo en Rincosaurios. XVIII Jornadas Argentinas de Paleontología de Vertebrados. Bahía Blanca, Argentina.
- Huene, F. von. 1939a. Die Lebensweise der Rhynchosauriden. *Paläont. Z.* 21:232-238.
- Huene, F. Von. 1939b. Die Verwandtschaftsgeschichte des Rhynchosauriden des sudamerikanischen Gondwanalandes. *Physis*, 14: 499-523. (1939)
- Huene, F. von. 1942. *Die fossilen Reptilien des sudamerikanischen Gondwanalandes*. Munich: C. H. Beck.
- Hutton, J. 1788. *The Theory of Rain*. *Transactions of the Royal Society of Edinburgh*, Vol.1 parte 2, 41-86
- Kealy, R. D.; Lawer, D. F.; Ballam, J. M.; Lust, G.; Smith, G. K.; Biery, D. N.; y Olsson, S-E., 1997. Five-year longitudinal study on limited food consumption and development of osteoarthritis in coxofemoral joints of dogs. *JAVMA*. 210: 222-225.
- Kealy, R. D.; Olsson, S-E; Monti, K. L.; Lawler, D. F.; Biery, D. N.; Helms, R. W.; Lust, G; y Smith G. K. 1992. Effects of limited food consumption on the incidence of hip dysplasia in growing dogs. *JAVMA*. 201: 857-863.
- Kelly, A. M. y Zacks, S. I. 1969. The histogenesis of rat intercostal muscle. *J. Cell. Biol.* 42:135.
- Langer, M. C., Ferigolo, J. and Schultz C. L. 2000. Heterochrony and tooth evolution in hyperodapedontine rhynchosaur (Reptilia, Diapsida). *Lethaia*, vol 33, pp 119-128
- Larsen, J. S.; y Corley, E. A. 1972. Prevalence of hip dysplasia according to radiographic evaluation among 36 breeds of dogs. *Proc. Canine Hip Dysplasia Symposium*. St. Louis MO. 101-104.

- Lust, G.; Geary, J. C.; y Sheffy, B. E. 1973. Development of hip dysplasia in dogs. *Am J. Vet. Res.* 34: 87-91.
- Lust, G.; y Farrell, P. W. 1997. Hip dysplasia in dogs: The interplay of genotype and environment. *Ornell Vet.* 67: 447-446.
- Lyell, C. 1830-1833. *Principles of Geology*. Vol 3. London
- Lydekker, R. 1885. Reptilia and Amphibia of the Maleri and Denwa groups. *Paleontologia Indica*, 4 (1): 1-28.
- Martínez, R. N. 1994. Estratigrafía del Sector Agua de la Peña- Río de la Chilca, Formación Ischigualasto (Triásico Superior), Cuenca de Ischigualasto, San Juan. Tesis de Licenciatura. Universidad Nacional de San Juan.
- Martínez, R. N.; Milana, J. P. y Alcober, O. A.. 1995a. Variación vertical del ambiente sedimentario de la Formación Ischigualasto (Triásico superior- Carniano) San Juan- Argentina. XI Jornadas Argentinas de Paleontología de Vertebrados. Tucumán.
- Martínez, R. N.; Milana J. P. y Alcober, O. A. 1995b. Taphonomy of a basal portion of the Ischigualasto formation, Upper Triassic, San Juan province, Argentina. *Journal of Vertebrate Paleontology* 15 (suplement) : 38A.
- Mayr, E. 1982. *The Growth of Biological Thought: Diversity, Evolution, and Inheritance*. Harvard Univ. Press, Cambridge-Mass
- Morgan, J. P.; Wind, A.; y Davidson, A. P. 2001. Enfermedades articulares y óseas hereditarias del perro. Editorial Intermédica. Buenos Aires. Argentina.
- Osborn, H. F. 1903. The reptilian subclasses Diapsida and Synapsida and the early history of the Diaptosauria. *Memoirs of the American Museum of Natural History*, 1 (8): 449-507.
- Owen, R. 1842. Report on British fossil reptiles. Part II. Reports of the British Association for the Development of Science; 1841: 60-204.
- Pianka, E. R. 1982. *Ecología Evolutiva*. Barcelona- Omega
- Priester W. A.; y Mulvihill, J. J. 1972. Canine hip dysplasia: Relative risk by sex, size and breed and comparative aspects. *JAVMA*. 160: 735-739.
- Riser, W. H.; y Larsen, J. S. 1974. Influence of breed somatotypes on prevalence of hip dysplasia in the dog. *JAVMA*. 165: 79-81.
- Rogers, R. R.; Swisher, C. C.; Sereno, P.; Moneta, A. M. ; Foster, C. A. y Martínez, R. N. 1993. The Ischigualasto Tetrapod assemblage (Late Triassic, Argentina) and 40 Ar/39 Ar dating of dinosaur origins. *Science*. V. 260, p. 794-797.
- Romer, A. S. 1960. Vertebrate-bearing continental Triassic strata in Mendoza region, Argentina: *Geol. Soc. American Bull.* V. 71, p. 1270-1204.
- Romer, A. S. 1962. The fossiliferous Triassic deposits of Ischigualasto, Argentina: Cambridge, Mass., *Mus. Comp. Zoology, Breviora*, v. 156, p. 1-7.
- Rothschild, B. M.; y Tanke, D. H. 1992. Paleopathology of vertebrates: Insights to lifestyle and health in the geological record. *Geosci. Can.* 19 (2), 73-82.
- Schenelle, G. B. 1964. Congenital dysplasia of the hip (canine) and sequelae. *Science Proceed AVMA meeting*, pp 253-258.
- Sereno, P.C., Forster, C., Rogers, R R., y Monetta, A.M., 1993. Primitive dinosaur skeleton from Argentina and the early evolution of Dinosauria. *Nature*, 361: 64-66.
- Sill, W. D. 1970. *Scaphonyx sanjuanensis*, nuevo rincosaurio (Reptilia) de la formación Ischigualasto, Triásico de San Juan, Argentina. *Ameghiniana*, VII (4): 341-354.
- Sill, W. D. 1971. Functional morphology of the rhynchosaur skull. *Forma & Function*, 4: 303-318.
- Tanke, D. H. 1997. The rarity of paleopathologies in "short-frilled" Ceratopsians (Reptilia: Ornithischia: Centrosaurinae): evidence for non-aggressive intra-specific behavior. In *Paleopathology* (B. M. Rothschild and S. Shelton, Eds.), in press. Univ. of Texas Museum of Natural History, Austin.



Espacio de la Ciencia y la Tecnología.
Padre Contreras 1300 - Ex Fundación EUREKA
Mendoza, República Argentina
00 54 261 4299986 - ices@uncu.edu.ar
www.imd.uncu.edu.ar