

E - ICES 10

10° ENCUENTRO INTERNACIONAL CIENCIAS DE LA TIERRA

Acta de trabajos completos

3 al 6 de noviembre de 2014 - Buenos Aires - Argentina

Comisión Nacional de Energía Atómica

Ministerio de Planificación Federal, Inversión Pública y Servicios
Presidencia de la Nación

ices International Center for Earth Sciences Nodo Argentina

Grupo Latinoamericano de Emisión Acústica GLEA

idaso

Fundación Williams

Agencia

UNCUYO Universidad Nacional de Cuyo

OGS

CNR

INGV

Actas de trabajos completos E-ICES 10 /
Nidia Barbero ... [et.al.] ; compilado por Cynthia Hucailuk e Iara Mercado. - 1a ed. - Ciudad
Autónoma de Buenos Aires : Comisión Nacional de Energía Atómica - CNEA, 2015.
CD-ROM.

ISBN 978-987-1323-39-5

1. Ciencias de la Tierra . I. Barbero, Nidia II. Hucailuk, Cynthia , comp. III. Mercado, Iara , comp.
CDD 550

Fecha de catalogación: 12/05/2015

AUTORIDADES ICES ARGENTINA

Director Científico
Dr. Darío Torres (CNEA).
Secretaria Ejecutiva
Abogada Mónica Llansó (CNEA).

CONSEJO DE REPRESENTANTES
Presidente
Dr. Juan Carlos Leiva (UNCuyo)
Consejo
Dr. Alfredo Boselli (CNEA)
Mag. Luis Lenzano (UNCuyo)
Ing. Julio Nicolai (CNEA)
Dr. Manuel Tovar (UNCuyo)

COMITÉ ORGANIZADOR

Comité Organizador Regional ICES-CNEA
Dr. Martín Gómez, ICES, CNEA, Buenos Aires, Argentina.
Dr. Dino Filipussi, ICES, CNEA, Buenos Aires, Argentina.
Dra. María Isabel López Pumarega, ICES, CNEA, Buenos Aires, Argentina.
Ing. Carlos Guzmán, ICES, CNEA, Buenos Aires, Argentina.
Lic. Cynthia Hucailuk, ICES, CNEA, Buenos Aires, Argentina.

Comité Organizador Regional ICES-Malargüe
Ing. Agr. Nidia Barbero (ICES-Malargüe)
Prof. Amalia Ramires (ICES-Malargüe)
Ing. Frtal. Ana Rosa Castaño Gañan (ICES-Malargüe)

Prólogo

En esta oportunidad dado el décimo aniversario de los encuentros E-ICES se propuso realizar estas jornadas en Centro Atómico Constituyentes, Comisión de Energía Atómica, Buenos Aires, cuna y lugar de gestación y de desarrollo del ICES hasta la actualidad.

El encuentro E-ICES 10 pretende, y es nuestra humilde intención, servir como centro de generación y de intercambios de ideas entre los científicos participantes dentro del amplio marco de las Ciencias de la Tierra. Satisfacer la necesidad de actualización permanente en cada una de las líneas temáticas de los científicos presentes, así como la de integrar diversas especialidades dentro de la misma temática.

En esta oportunidad se han recepcionado del orden de 120 trabajos entre exposiciones orales y pósters, manifestando el continuo interés que despiertan estas reuniones. Tales como en anteriores ocasiones, los participantes ofrecen una interesante variedad de trabajos y diversidad de temas conservando el espíritu del ICES en lo que respecta a la pluralidad en las líneas de estudio presentadas.

Demás está decir, que de las nuevas investigaciones se genera el crecimiento del conocimiento científico y el aumento de la producción científica, es por eso que siguiendo esta línea importante para nosotros, se otorgarán premios a los mejores trabajos de jóvenes investigadores expuestos en forma oral a modo de que sirva de incentivo y de pequeño financiamiento económico en su tarea realizada y a realizar.

Quiero agradecer fundamentalmente a la Comisión Nacional de Energía Atómica, que sin su valioso aporte no hubiese sido posible realizar esta sucesión de encuentros que se vienen realizando, al Ministerio de Ciencia y Tecnología por medio del otorgamiento del RC-2014-0137, al Istituto di acustica e sensoristica ,IDASC de Roma , Italia, a la Municipalidad de Malargüe, a la Fundación Williams, a la honorable Cámara de Senadores de Mendoza por declarar las jornadas ICES de interés provincial y al Comité Organizador.

Dr. Darío Nelson Torres

Director Científico ICES

ÍNDICE

Pág. 11 – Barbero N. E., Sánchez S. E.

COLECCIÓN DE CEPAS DE RHIZOBIUM DE LEGUMINOSAS NATIVAS EN EL DEPARTAMENTO DE MALARGUE

Pág. 22 – Barbero N., Bustamante G., Castaño A., Garelis P., Viollaz G.

CARACTERIZACIÓN ECOLÓGICA DE LOS RÍOS DEL DEPARTAMENTO DE MALARGÜE, MENDOZA: RESULTADOS DEL RÍO SALADO

Pág. 39 – Bécher Quinodóz F., Blarasin M.

DINÁMICA Y GEOQUÍMICA GENERAL E ISOTÓPICA DEL AGUA SUPERFICIAL Y SUBTERRÁNEA EN LA PLANICIE ARENOSA DEL SUR DE CÓRDOBA. ARGENTINA

Pág. 51 – Bokhonok O., Ravazzolia C.L.

SENSITIVITY STUDY AND COMPARATIVE ANALYSIS OF ELASTIC PROPERTIES AND ANISOTROPY COEFFICIENTS IN ORGANIC SHALES

Pág. 64 – Bongiovanni M. V., Grünhut V., Osella A., Tichno A.

DETECCIÓN DE TRAZADORES SALINOS A TRAVÉS DE SIMULACIONES NUMÉRICAS DE MEDICIONES GEOELÉCTRICAS EN SUPERFICIE Y EN POZO

Pág. 74 – Borzi G. E., Carol E. S.

LAS OBRAS VIALES COMO CONDICIONANTES DEL DRENAJE EN EVENTOS DE TORMENTA EXTREMA. CUENCA DEL RÍO SAMBOROMBÓN, BUENOS AIRES

Pág. 86 – Carini F. D.

SUSCEPTIBILIDAD A LA LICUEFACCIÓN DE LOS SUELOS DEL SECTOR ORIENTAL DEL GRAN MENDOZA. ARGENTINA

Pág. 99 – Carol E., García L.

HIDROGEOQUÍMICA DE LAS LENTES DE AGUA DULCE DEL LITORAL DE LA BAHÍA SAMBOROMBÓN, LOCALIDAD DE CERRO DE LA GLORIA (BUENOS AIRES)

Pág. 106 – Casas J. A., Draganov D., Manassero M. C., Gomez M., Ruigrok E., Badi G. A.

INTERFEROMETRÍA SÍSMICA CON SISMOS VOLCANO-TECTÓNICOS APLICADA A DATOS DEL VOLCÁN PETEROA, ARGENTINA

Pág. 115 – Castaño-Gañán A. R.

COMPARACIÓN DE LA TASA DE CRECIMIENTO Y DENSIDAD DE ÁLAMO CRIOLLO DE DOS CORTINAS FORESTALES DEL DEPARTAMENTO DE MALARGÜE

Pág. 125 – Castro Godoy S.

MONITOREO SATELITAL DEL COMPLEJO VOLCANICO PLANCHON-PETEROA CON ASTER

Pág. 135 – Castro J. I., Francile C.

APROXIMACIÓN DE FERMAT-ALFVÈN PARA ONDAS MHD

Pág. 138 – Celentano G. A., Lanfranco R. L., Zanini C. D.

CARACTERIZACIÓN GEOMECÁNICA DEL SUBSUELO DEL CENTRO URBANO DE MORÓN - PCIA DE BUENOS AIRES

Pág. 148 – Cellone F. A., Melo M., Carol E. S.

GEOHIDROLOGÍA DEL EXTREMO NORESTE DE LA PROVINCIA DE BUENOS AIRES (ARGENTINA)

Pág. 158 – Civeira G.

CONTRIBUCION DE LOS SUELOS DEL AREA METROPOLITANA DE BUENOS AIRES EN EL MANTENIMIENTO DE LOS SERVICIOS ECOSISTEMICOS

Pág. 166 – Cogliati M. G.

CÁLCULO DE LA EVAPOTRANSPIRACIÓN EN EL VALLE DEL RÍO NEUQUÉN, ARGENTINA, CON INFORMACIÓN SATELITAL

Pág. 174 – Cogliati M.G., Groch D., Finessi F.G.

UTILIZACIÓN DE PRODUCTOS TERRA-MODIS PARA EL CÁLCULO DE LA SUPERFICIE NÍVEA EN LA CORDILLERA DEL VIENTO (NEUQUÉN, ARGENTINA)

Pág. 186 – Cuello J. E., Monachesi L. B., Guarracino L.

ESTIMACIÓN NUMÉRICA DE PARÁMETROS HIDRÁULICOS EN LA CUENCA MATANZA RIACHUELO MEDIANTE EL MÉTODO DE MAREA INDUCIDA

Pág. 195 – De Sio S., Schifano M.P., Balladore F., Nieto A.H.

METANALISIS: IMPACTO SOBRE EL APARATO RESPIRATORIO DE TRABAJADORES EXPUESTOS A CONTAMINACION URBANA

Pág. 210 – Delgado M. I.

AGRESIVIDAD DE LAS PRECIPITACIONES EN EL SUDOESTE DE LA PROVINCIA DE BUENOS AIRES

Pág. 222 – Díaz Gómez R.

EL AVANCE DE LA FRONTERA AGRÍCOLA Y SU IMPACTO EN LA PÉRDIDA DE SUELO, TUCUMAN, ARGENTINA

Pág. 236 – Diaz Resquin M., Rössler C., Bonoli M., Picasso E., Dawidowski L.

CARACTERIZACIÓN DE LOS EXTREMOS ANUALES DE PRECIPITACIÓN PARA LAS ESTACIONES METEOROLÓGICAS DE BAHÍA BLANCA, EL PALOMAR, AEROPARQUE Y EZEIZA

Pág. 249 – Drajlin Gordón D. S., Scotti A.

DISTRIBUCIÓN DE ZN, MN, SR Y U, EN HELIANTHUS ANNUUS EN ASOCIACIÓN MICORRÍCICA CON RHIZOPHAGUS INTRARADICES

Pág. 261 – Estigarribia L., Rodríguez J. M., Papú O., Estrabou C.

CAMBIOS DE LA COMUNIDAD DE LÍQUENES SAXÍCOLAS EN ZONAS DE PRODUCCIÓN HIDROCARBURÍFERA EN EL SUR DE LA PROVINCIA DE MENDOZA

Pág. 271 – Fermani Marambio S.

PROCESOS DE SEGREGACIÓN RESIDENCIAL Y CONFIGURACIÓN DE ESCENARIOS DE RIESGOS: ESTUDIO DE CASO DEL PIEDEMONTE DEL DEPARTAMENTO DE GODOY CRUZ y CIUDAD MENDOZA, ARGENTINA

Pág. 282 – Fernández F. J.

MICROMAMÍFEROS COMO INDICADORES DE DETERIORO AMBIENTAL (ANTRÓPICO) EN EL SUR DE MENDOZA

Pág. 294 – García L., Borzi G., Carol E.

RELACIÓN ENTRE LA EROSIÓN HÍDRICA Y LAS CARACTERÍSTICAS GEOLÓGICAS EN EL CANAL 15, CUENCA DEL SALADO (BUENOS AIRES)

Pág. 303 – Gaspari F.J., Senisterra G. E.

MODELIZACIÓN HIDROLÓGICA CON LTHIA DE LA RELACIÓN PRECIPITACIÓN-ESCURRIMIENTO EN LA CUENCA ALTA DEL ARROYO NAPALEOFÚ, BUENOS AIRES. ARGENTINA

Pág. 313 – Gianibelli J. C.

LA FORMACION DEL RECURSO HUMANO EN GEOMAGNETISMO

Pág. 323 – Gianibelli J. C., Quaglino N., Gil M. I., Nollas F.

LA ACTIVIDAD GEOMAGNETICA MEDIANTE UN INDICE DE DETERMINACION GLOBAL

Pág. 333 – Goldar J. E., Gutiérrez C. A., GerezG. N., PasteJ. F.

ESTUDIO DE LA VARIACIÓN DE LA PRECISIÓN EN MODELOS DE ONDULACIONES GEOIDALES, SEGÚN EL MÉTODO DE INTERPOLACIÓN UTILIZADO

Pág. 343 – Hernández J. M., Papú O., Cañas M. S.

DIAGNOSTICO DE LA CALIDAD DE AIRE EN LA CIUDAD DE MALARGÜE EMPLEANDO LÍQUENES COMO BIOMONITORES

Pág. 354 – Hucailuk C., Nuñez N., Torres D.

APLICACIÓN DE RUIDO MAGNÉTICO BARKHAUSEN PARA LA EVALUACIÓN DEL GRADO DE DESBASTE DURANTE EL PULIDO METALOGRÁFICO DE UN ACERO 1020 Y DE UNA PLACA DE NÍQUEL 99.9%

Pág. 360 – Huggenberger D.A., Vargas W.M.

ANÁLISIS DE OSCILACIONES DE MUY BAJA FRECUENCIA EN ANOMALÍAS ABSOLUTAS DE LA PRECIPITACIÓN GLOBAL

Pág. 372 – Huggenberger D.A., Vargas W.M.

ANÁLISIS DE OSCILACIONES DE MUY BAJA FRECUENCIA EN ANOMALÍAS RELATIVAS EN LA PRECIPITACIÓN GLOBAL

Pág. 385 – López Pumarega M. I., Núñez N. M., Gallucci A. R., Ruzzante J. E., Rosenberg S., Bonelli Toro A., Tornello M., Frau C.

PRIMEROS DATOS DE EMISIÓN ACÚSTICA PRODUCIDOS EN LA ESTACIÓN DE MEDICIÓN DE CACHEUTA, PROVINCIA DE MENDOZA

Pág. 397 – López Pumarega M. I., Ruzzante J. E.

ENCUENTROS INTERNACIONALES ICES: 10 E-ICES…

Pág. 409 – Méndez-Garabetti M. A., Bianchini G., Tardivo M. L., Caymes-Scutari P.

PREDICCIÓN DE INCENDIOS FORESTALES MEDIANTE ESS-IM: ANÁLISIS DE VARIACIÓN DINÁMICA DE LA REPRESENTACIÓN DEL TERRENO

Pág. 421 – Moralejo M. del P., Acebal S. G.

NATURALEZA Y PROPIEDADES MAGNÉTICAS DE COMPUESTOS DE HIERRO EN SUELOS DEL SUDOESTE DE LA PROVINCIA DE BUENOS AIRES

Pág. 430 – Morandeira N. S., Grings F., Kandus P.

MONITOREO DE HUMEDALES FLUVIALES CON DATOS SAR Y SAR POLARIMÉTRICOS: EL CASO DE LA PLANICIE DE INUNDACIÓN DEL BAJO RÍO PARANÁ

Pág. 442 – Ostertag G., Frassetto F., Alvarez H.

ESTIMACION DE CAUDALES MAXIMOS DEL RIO LIMAY

Pág. 452 – Porzionato N., Martiñan M., Bussi E., Grinberg S., Gutierrez R., Curutchet G.

AUTODEPURACIÓN, ACUMULACIÓN DE CONTAMINANTES E IMPACTO EN ZONAS URBANAS PERIFÉRICAS: UNA MIRADA DESDE LOS ESTUDIOS AMBIENTALES

Pág. 461 – Puccio H., Grana N.

EL CAMBIO CLIMÁTICO EN ZONAS RIBEREÑAS. LA PERCEPCIÓN DE LOS HABITANTES DEL PARTIDO DE TIGRE

Pág. 474 – Ramires A., González V.

CALIDAD DE LAS AGUAS PARA CONSUMO HUMANO EN EL SUDESTE DE MALARGÜE, MENDOZA. Avances preliminares.

Pág. 486 –Reato A., Carol E.

CARACTERIZACIÓN GEOHIDROLÓGICA DE LAS FUENTES DE AGUA DULCE EN BAHÍA SAN BLAS, BUENOS AIRES

Pág. 495 – Rodrigues D., Arazi A., Fracchia D., Padilla S., Martí G. V.

ESTUDIO DEL RECICLADO DE MATERIAL CORTICAL DURANTE LA SUBDUCCIÓN DE LA PLACA DE NAZCA MEDIANTE LA TÉCNICA DE ESPECTROMETRÍA DE MASAS CON ACELERADORES

Pág. 506 – Rovere E. I., Martínez Fernández P., Uber S. M.

CAMBIOS GEOMORFOLÓGICOS Y SEDIMENTARIOS EN EL PN NAHUEL HUAPI Y CUENCA DEL RÍO LIMAY TRAS LA ERUPCIÓN DEL VOLCÁN PUYEHUE – CORDÓN CAULLE

Pág. 518 – Salomone V.N., Riera M., Custo G., Cerchietti L., Muniain C.C.

ESTUDIO INTEGRAL BIOLÓGICO Y QUÍMICO DE UNDARIA PINNATIFIDA EN LA REGIÓN CENTRAL DEL GOLFO SAN JORGE

Pág. 529 – San Martín L., González E. B., Gonzalez Trilla G., Cavallotto J. L., Kandusa P.

INTERPRETACIÓN GEOMORFOLÓGICA EN EL MARCO DE UN INVENTARIO DE HUMEDALES: EL CASO DE LA LLANURA COSTERA DE AJÓ

Pág. 541 – Santucci L., Villalba E., Carol E.

EVALUACIÓN DE LAS ALTERACIONES HIDROGEOMORFOLÓGICAS Y SU RELACIÓN CON LOS EVENTOS DE INUNDACIÓN EN BARRIOS DEL PARTIDO DE BERISSO (ARGENTINA)

Pág. 549 – Torrero M. P.

LOS DISTINTOS AMBIENTES DE LA CUENCA DEL RÍO TECKA – GUALJAINA, CHUBUT, ARGENTINA

Pág. 559 – Torrero M. P., Eduardo A. Agosta E. A.

FLUCTUACIONES INTERANUALES DEL PERÍODO DE MÁXIMO CAUDAL DEL RÍO TECKA – GUALJAINA, ARGENTINA Y LA CIRCULACIÓN TROPOSTÉRICA

COLECCIÓN DE CEPAS DE RHIZOBIUM DE LEGUMINOSAS NATIVAS EN EL DEPARTAMENTO DE MALARGUE

Barbero, Nidia E. [(1)]*; Sánchez, Sandra E.* [(2)]

[(1)] *International Center for Earth Sciences-Comisión Nacional de Energía Atómica (ICES-CNEA), Cmte Rodriguez esq. Esquivel Aldao, Malargüe, Mendoza, Argentina,* barbero@cnea.gov.ar

[(2)] *Laboratorio de análisis INASIS. Escuela Nº 4-018 Manuel N. Savio,* sandrasanchez-mgue@hotmail.com

RESUMEN

Malargüe presenta un relieve montañoso con clima árido, la mayor parte de la población y la zona más apta para la agricultura se establece en el oasis irrigado de la cuenca del río Malargüe. Se practica la producción caprina de trashumancia bajo pastura natural sobre un recurso escaso y alta desertificación del suelo; algunos puesteros, para sostener la alimentación del ganado, realizan la implantación de pasturas generalmente alfalfa (leguminosa) con semillas sin inocular o peleteadas con inóculo provenientes de la región pampeana. En el oasis la superficie agrícola corresponde a cultivos bajo riego de hortícolas, pasturas y forestales, con aplicación de fertilizantes especialmente en los primeros. Está bien documentado mundialmente los desastres ecológicos producidos por el uso indiscriminado de agroquímicos, por ello actualmente se tiende a implementar tecnologías que potencien las asociaciones planta-microorganismo por su efecto en la sostenibilidad productiva y ambiental. La fertilización nitrogenada por medio de leguminosas está considerada una tecnología de producción limpia (TPL), porque tiende a reducir al mínimo las emisiones al suelo, la atmósfera y los cuerpos de agua.

En un contexto de cultivos bajo riego y de semillas inoculadas con bacterias (rhizobium) seleccionadas en ambientes húmedos el presente trabajo tiene como objetivo general el aislamiento, caracterización y selección de cepas autóctonas que puedan nodular las leguminosas cultivadas en Malargüe; permitiendo avanzar hacia una fertilización racional de los suelos con biofertilizantes propios de la zona, de elevada eficiencia en la fijación de nitrógeno. Los resultados aquí presentados corresponden al primer objetivo específico, la obtención de una colección de cepas de simbiontes de leguminosas nativas, mediante muestreo directo de plantas y aislamiento a partir de los nódulos presentes en las raíces (FAO 1995), que crecen en diferentes áreas no cultivadas del territorio malarguino. Se espera lograr en este muestreo un ajuste adecuado de la técnica de aislamiento y poder avanzar hacia la identificación de las cepas.

INTRODUCCIÓN

La creciente preocupación por reducir los impactos ambientales, es decir reducir los efectos que tiene la actividad humana sobre el medio ambiente, ha impulsado la necesidad de desarrollar e implementar alternativas de *producción más limpias*. Una producción limpia es aquella que tiende a minimizar las emisiones tóxicas y de residuos hacia el agua, aire y suelo, reduciendo así los riesgos para la salud humana y ambiental. El Programa de la Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) lo definió como "la aplicación continua de una estrategia ambiental preventiva aplicada a los procesos, a

los productos y a los servicios, para reducir los riesgos relevantes a los seres humanos y al medio ambiente" (UNEP, 2006).

Desde finales de la década del 50 se han planteado dudas sobre la sustentabilidad de los procesos agrícolas tal como se han venido manejando hasta ahora, lo cual viene sustentado por elementos tales como la alta dependencia de los fertilizantes químicos, pesticidas y herbicidas, la destrucción de los hábitat naturales, la contaminación ambiental y los riesgos a la salud de los seres humanos. En tal sentido se plantean alternativas tales como la agricultura orgánica, agroecología, agricultura sostenible y tecnologías limpias aplicadas a la agricultura (Marco Brown, 2003).

En documentos emitidos por Organización de la Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura expresa que la agricultura se desarrolla en una simbiosis de tierra y agua y por consiguiente "se deben adoptar las medidas adecuadas para evitar que las actividades agrícolas deterioren la calidad del agua e impidan posteriores usos de ésta para otros fines". (FAO, 1990a).

Uno de los efectos nocivos de la actividad humana sobre el medio ambiente es la eutrofización de las aguas producto del uso de agroquímicos. En el resumen sobre la repercusión de los fertilizantes en la calidad del agua que aparece en el documento FAO/CEPE (1991) se citan los siguientes problemas: a) la fertilización de las aguas superficiales (eutrofización) da lugar, por ejemplo, al crecimiento explosivo de algas, que ocasiona trastornos en el equilibrio biológico [incluyendo mortandades de peces]. Así ocurre tanto en las aguas continentales (acequias, ríos, lagos) como costeras; b) el agua subterránea se contamina fundamentalmente por la presencia de nitratos. En todos los países el agua subterránea es una reserva importante de agua potable. En varias zonas, este recurso hídrico está contaminado hasta el punto de que ya no reúne las condiciones establecidas en las normas actuales para el consumo humano. Si bien, según FAO/CEPE (1991), estos problemas se deben fundamentalmente a la presencia de fertilizantes minerales, en algunos lugares la situación está especialmente asociada a la aplicación extensiva e intensiva de fertilizantes orgánicos (estiércol).

Otros autores, dan sus aportes en el mismo sentido, sosteniendo que la agricultura utiliza elevadas aplicaciones de fertilizantes minerales, especialmente los nitrogenados, siendo la principal responsable del contenido de nitratos en las aguas superficiales y subterráneas, los que pueden llegar a ser tóxicos a determinados niveles, Su (2013), Burow (2010), Kross (1993) y Sagardoy (1993). En este sentido en el futuro, para la nutrición de los suelos y las plantas el desafío será hacer uso de los fertilizantes con la mayor eficacia posible, evitando las pérdidas o derivas, con consecuencias negativas tanto económicas como ambientales.

Sabiendo que la familia de las leguminosas tiene la capacidad de asociar en su raíz, en forma simbiótica, una bacteria que toma nitrógeno de la atmosfera, nitrógeno que pasará a la planta y ésta le proporcionará a la bacteria los carbohidratos necesarios para su supervivencia, es importante potenciar y/ hacer uso de los beneficios naturales de que disponemos y así reducir el uso de fertilizantes nitrogenados sintéticos.

La fijación biológica de nitrógeno (FBN) consiste en la conversión del N2 a su forma más reducida, iones amonio ($NH4^+$), que serán utilizados por los seres vivos para la formación de sus compuestos nitrogenados. Este mecanismo constituye una fuente gratuita de N, es así que las leguminosas forrajeras representan una manera económica de disponer de N para el sistema suelo–planta–animal. La FBN es considerada como un proceso clave en la biosfera y constituyente fundamental de la agricultura sostenible. Se estiman que cerca del 80% del nitrógeno fijado en el planeta se debe a la actividad del

género gram-negativo de bacterias Rhizobium, se estima que la asociación Rhizobium-leguminosa es responsable de la fijación anual de 35 millones de toneladas de nitrógeno (Sessitsch A.; et al).
El relieve de la Provincia de Mendoza es predominantemente montañoso y el clima es típicamente árido. Tanto el relieve como el clima determinan la importancia del agua de los ríos como fuente de vida en la provincia. Los ríos que descienden de la Cordillera dan origen a los grandes oasis productivos en medio del desierto, que contienen y concentran la mayor cantidad de población y actividad agropecuaria. Ya en el Departamento de Malargüe, hacia el sur de la provincia, se encuentra un oasis de menor importancia formado por el Río Malargüe, y hacia el suroeste se encuentra la cuenca del Río Grande un oasis potencial de gran extensión y constituye el recurso hídrico más importante de la Provincia de Mendoza, que hasta el día de hoy no ha sido aprovechado.
Malargüe tiene una importante producción de cabras fundamentalmente bajo la modalidad de la trashumancia, trasladando los rebaños a la precordillera en veranada y en otoño llevando los animales a su invernada en los valles hacia el este del departamento; la alimentación del ganado consiste en especies del pastizal natural, el cual se encuentra degradado como consecuencia de una carga animal excesiva y la escases de precipitaciones de los últimos años. En el oasis del Río Malargüe se practica la ganadería sedentaria y la agricultura, en especial la producción de semillas de papa, cebolla y ajo, y alfalfa para la producción de fardos, todo sustentado por riego y fertilizantes, sobre todos los primeros.
En los últimos años ha ido aumentado la siembra de alfalfa (leguminosa) fundamentalmente para suplementar la alimentación del ganado debido a la escasez de pasto. Las semillas de alfalfa usualmente están cubiertas con una capa de bacterias fijadoras de nitrógeno con el objeto de acelerar el proceso de fijación atmosférica desde los primeros momentos de la germinación. En Malargüe la semilla utilizada proviene de la región húmeda pampeana por lo que se estima contienen bacterias seleccionadas en estos ambientes muy distintos a los cuales se someten una vez sembradas las semillas en una zona árida como la del Departamento.
En un contexto de cultivos bajo riego, la preservación de las aguas de regadío de la contaminación nitrogenada; y de semillas de alfalfa inoculadas con bacterias seleccionadas en ambientes húmedos y sembradas en ambientes áridos, el presente trabajo está inserto en un objetivo general de proyecto que es el aislamiento, caracterización y selección de cepas autóctonas que puedan nodular las leguminosas cultivadas en Malargüe; permitiendo avanzar hacia una fertilización racional de los suelos con biofertilizantes propios de la zona, de elevada eficiencia en la fijación de nitrógeno y contribuir a minimizar los contaminantes químicos provenientes de fertilizantes nitrogenados sintéticos sobre el recurso hídrico vital en estas zonas. Los resultados aquí presentados corresponden al primer objetivo específico que es obtener una colección de cepas autóctonas, extraídas de leguminosas nativas de zonas no cultivadas malargüinas y lograr un ajuste adecuado de la técnica de aislamiento y avanzar hacia la identificación de las cepas recolectadas.

MATERIALES Y MÉTODOS

El presente trabajo forma parte del programa: “Leguminosas como fertilizantes nitrogenados en ambientes áridos irrigados" cuyo objetivo general es proveer una base de conocimientos de la relación leguminosa-bacteria fijadora de nitrógeno. Este trabajo

provee parte de la información para cumplimentar los dos primeros objetivos específicos: 1) Verificar y ponderar la nodulación de leguminosas nativas e implantadas y 2) Aislar y caracterizar las bacterias presentes en los nódulos de las leguminosas nativas para la posterior selección de cepas.
Previamente al muestreo de plantas se realizó una búsqueda bibliográfica sobre las especies nativas leguminosas (Fabáceas) que se encuentra documentado su hallazgo en el Departamento. Se listó los nombres científicos y vulgares, sus características morfológicas y sus fotografías. La lista de especies correspondía tanto a especies leñosas como herbáceas, anuales y perennes. Por cuestiones de facilidad de muestreo, dada las características de crecimiento radicular de las especies en las zonas áridas se procedió a separar de la lista inicial a las herbáceas anuales y perennes, debido a que en ellas sería más fácil acceder a una planta completa (parte aérea y subterránea) y por ende a los nódulos de las raíces. El procedimiento de muestreo y conservación de nódulos cosechados fue seguido del Manual Técnico de Fijación de Nitrógeno, FAO-1995.
En la primavera de 2013 se realizó el muestreo de leguminosas nativas de áreas no impactadas por la agricultura. Por cuestiones de facilidad de acceso se eligió una transepta coincidente con las rutas y caminos hacia el norte y sur de la ciudad de Malargüe, con un ancho aproximado de 100 m a cada costado de las rutas. Hacia el norte de la ciudad mayormente sobre la Ruta Provincial 222 y algunos caminos internos y hacia el sur por la Ruta Nacional 40 y otros accesos internos (ver Fig. 1). Las estaciones de muestreo no fueron definidas previamente; en el campo en cada tramo y ambiente diferente se hacia una observación visual de las plantas del lugar, por lo general en especies en flor por la facilidad de reconocimiento, cuando se determinaba que fuera una leguminosa se establecía la estación de muestreo con la/las plantas encontradas en un radio no mayor a 3 metros con centro en la primer planta encontrada.

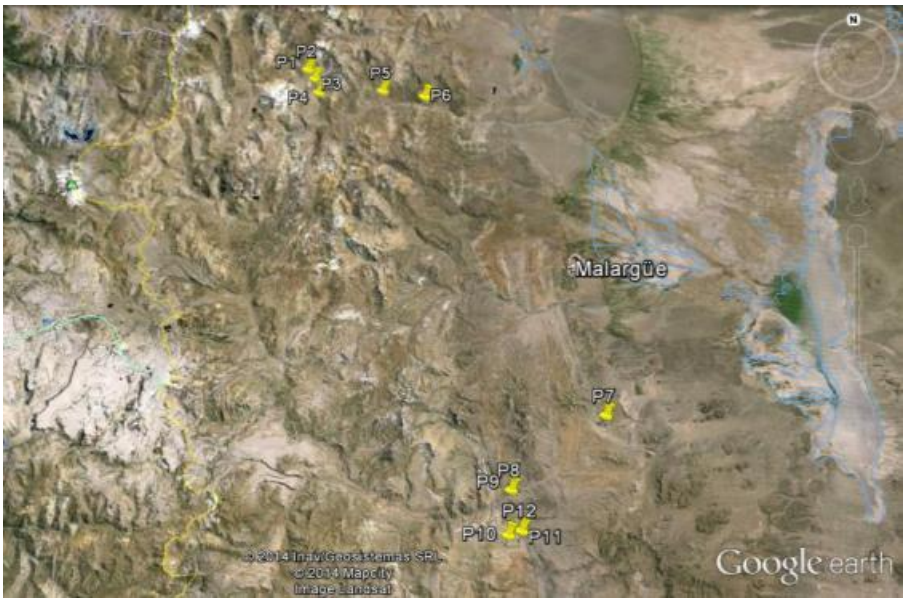


Figura 1: Con un pinche amarillo se indica los lugares de extracción de las plantas y obtención de sus nódulos

El muestreo consistió en la ubicación de una planta o grupo de plantas, la toma de fotos del lugar y de las plantas, la georeferenciación del sitio, la numeración correspondiente

al muestreo, la asignación de un nombre al sitio y otros datos anexos cuando fuera necesario. Luego se procedió a descalzar las plantas, se le quito en el lugar con sumo cuidado la mayor proporción de tierra posible, se tomo fotos de las raíces y se las coloco en bolsas y posteriormente dentro de una heladera portátil con refrigerantes. Cada bolsa contenía varias plantas del mismo sitio cuando estas existían, conteniendo desde una a 5 plantas por bolsa. Se mantuvieron en cadena de frio hasta el momento de procesamiento de las muestras en gabinete. El muestreo se extendió por dos días consecutivos. El primer día se muestreo la zona al norte de la ciudad de Malargüe y al siguiente día se continuo con la zona al sur de la ciudad.
En la Tabla Nº 1 se lista los puntos de muestreo con sus coordenadas.

Tabla 1: Puntos de muestreo y su georreferenciación

Punto	Lat	Long	Altura (m)
1	35º 06 616	70º 05 566	2202
2	35º 06 607	70º 05 490	2387
3	35º 07 680	70º 04 785	2239
4	35º 09 221	70º 04 451	2202
5	35º 09 311	69º 56 431	1935
6A	35º 10 335	69º 51 255	1815
6B	36º 10 335	70º 51 255	1816
7	35º 44 870	69º 34 463	1827
8	35º 51 125	69º 46 366	1473
9	35º 51 119	69º 46 382	1471
10	35º 85 199	69º 77 303	1499
11	35º 54 905	69º 45 750	1412
12	35º 54 905	69º 45 749	1413
13	35º 54 905	69º 45 749	1413

Ya en gabinete se procedió a extraer el resto de tierra de las raíces, se lavaron y por último se separaron los nódulos de las raíces. Cuando el caso lo requirió se los rehidrato colocando las plantas en un pote de agua hasta conseguir la turgencia suficiente. Se observaron los nódulos en microscopio estereoscópico binocular, modelo MZS 0745 L., se los describió, se los fotografió y se los coloco en frascos herméticos conteniendo Cl_2Ca y algodón de por medio, cada frasco contenía los nódulos de una planta (si fuera la única encontrada en la estación de muestreo) o varias plantas de la misma estación de muestreo. Finalmente se los almacenó en heladera a 4 ºC hasta el procesamiento y siembra en medio de cultivo.
Para el aislamiento y cultivo de las bacterias de los nódulos recolectados (FAO, 1995) se procedió a la preparación del medio de cultivo con la siguiente composición:

K2HPO4 0,5 gr
MgSO4.7H2O 0,2 gr
NaCl 0,1 gr
Manitol 10 gr
Agua de levadura 100 ml (extracto de levadura= 1 gr) se ajusto el pH a 6,8-7
Agua destilada 900 ml
Cicloheximida 200 mg/l

Agar 10-15 gr/l

Este medio de cultivo también llamado Extracto de Levadura Manitol o ELM se llevo a autoclave a 120 ºC por 20 minutos, luego de enfriarse a 55-60 ºC se procedió a verterlo en cajas de petri y tubos de ensayo.
Para la preparación del macerado de los nódulos proveniente de cada frasco, se procedió al lavado pasando los nódulos brevemente por etanol al 95 % luego a una solución de cloruro de mercurio al 0,1 % y finalmente se los enjuagó con agua destilada; posteriormente se lo transfirió a una solución salina estéril para el macerado de los nódulos, todo según el procedimiento, FAO, 1995. De la suspensión sobrenadante se extrajo 0,1 ml y se coloco sobre las cajas de petri conteniendo el ELM usando el método del estriado y en tubos de ensayo inclinados.
Las cajas de petri así sembradas se llevaron a estufa a 28 ºC hasta la aparición de las colonias, revisando las mismas diariamente para el relevamiento de las fechas y la aparición de las nuevas colonias, ya que existen distintos tipos de bacterias fijadoras de nitrógeno, de rápido crecimiento y de lento crecimiento, las primeras aparecen a las 24-48 hs de incubación y las últimas al cabo de dos semanas.
Para la identificación morfológica de las colonias del género Rhizobium se utilizó la descripción provista por el Manual de Bacteriologia Sistematica y de determinación de Bergey (Brenner et. al., 2005).

RESULTADOS

La colección provino de una extensión de 150 km en dirección norte sur en el Departamento de Malargüe, de los 2400 a los 1400 metros de altitud y desde vegetación de Valles Andinos a Piedemontes.
En el presente trabajo para cada estación de muestreo se identificó la planta por género y no por especie dado que en algunos casos no se pudo definir con exactitud la especie, por lo tanto se opto por presentar el mismo nivel de detalle en todos los casos.
A continuación se presenta, para cada estación de muestreo, las fotos de las plantas y de los nódulos bajo el microscopio estereoscópico.

Estación 1: En gabinete se comprobó que las plantas no pertenecían a la familia de las leguminosas.
Estación 2: En una vega, camino hacia Valle Hermoso, Ruta Prov. 222. (Ver Fig. 2)

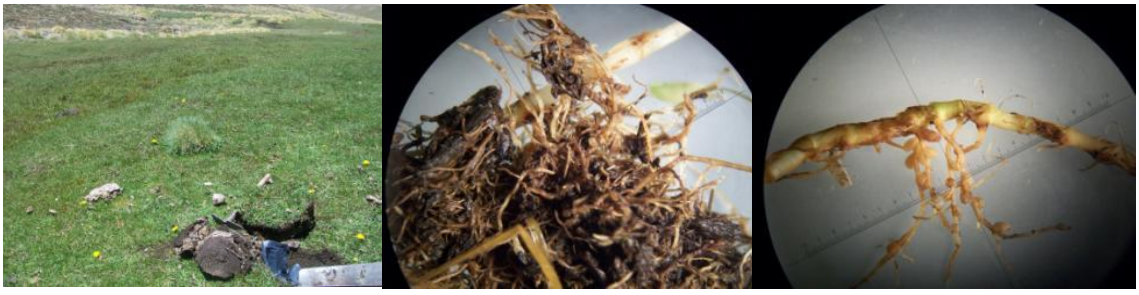


Fig. 2: (Trifolium sp.)

Estación 3: Valle de Las Leñas, al término del asfalto de la Ruta Prov. 222. (Ver Fig. 3)



Fig. 3 (Astragalus sp.)

Estación 4: Valle de Las Leñas, frente a la estación de servicio. Ruta Prov. 222 (Ver Fig. 4)



Fig. 4 (Astragalus sp.)

Estación 5: En el Valle de Los Molles. Camino interno. (Ver Fig. 5)



Fig. 5 (Latirus sp.)

Estación 6: Cercanías al sitio turístico Laguna de la Niña Encantada. RP222 (Ver Fig. 6)



Fig. 6 (Astragalus sp.)

Estación 7: Cuesta del Chihuido. Ruta Nacional 40 (Ver Fig. 7)



Fig. 7 Medicago sp.

Estación 8: Rotonda, Ruta Nacional 40 y acceso a Ruta Provincial hacia Sierras de Palauco (Ver Fig. 8)



Fig. 8 (Adesmia sp.)

Estación 9: Entre la rotonda (estación 8) y Localidad de Bardas Blancas. RN 40 (Ver Fig. 9)



Fig. 9 (Adesmia sp.)

Estación 10: En camino interno hacia el Bosque petrificado (Ver Fig. 10)



Fig. 10 (Adesmia sp.)

Estación 11: En los alrededores de la Localidad de Bardas Blancas (Ver Fig. 11)



Fig. 11 (Adesmia sp.)

Estación 12: Alrededores de Bardas Blancas. No se pudo encontrar nódulos en la porción de raíz extraída (Ver Fig. 12)



Fig. 12 (Hoffmannseggia sp.)

Estación 13: Al sur de Bardas Blancas cerca del bosque petrificado (Ver Fig.13)



Fig. 13 (Adesmia sp.)

Ajuste de la técnica de aislamiento

Se siguió el procedimiento de preparación del medio de cultivo, posterior disposición en cajas de Petri y tubos inclinados (Ver Fig. 14) y luego en estufa, el seguimiento del desarrollo de las colonias se registró diariamente por el término de 15 días.



Fig. 14 Lavado de los nódulos, macerado, siembra , placas y tubos sembrados listos para incubar

Para el ajuste de la técnica de aislamiento se realizó el procedimiento varias veces pero sólo con los nódulos procedentes de las plantas de la estación de muestreo 4 (Astragalus sp.), por ser la muestra con mayor número de nódulos disponibles.

Luego de la incubación por dos semanas se presentaron dos tipos de colonias, unas más grandes y otras más pequeñas, en las primeras 48 hs. Muy similares morfológicamente de color blanquecinas, circulares de borde liso, semitranslúcidas a opacas y convexas, de aproximadamente 2 mm las más pequeñas y de 4 mm aproximadamente las más grandes (Ver Fig. 15).

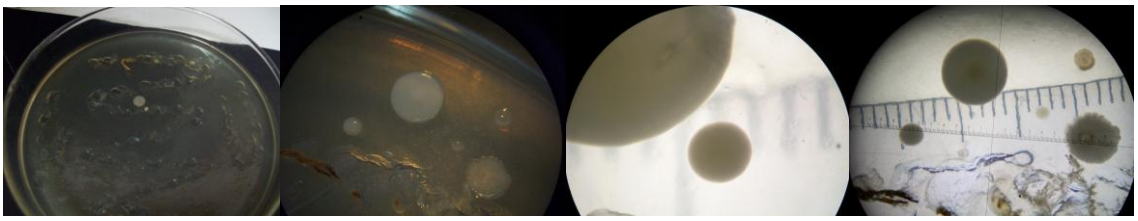


Fig.15 Se muestran dos tipos de colonias circulares de borde liso de color blanquecinas. Unas de tamaño pequeño de 2 mm y otras mas grande de 4 mm aproximadamente

DISCUSIÓN

La inadecuada adaptación al medio de uno de los integrantes de la simbiosis implica una pobre expresión de las bondades de este tipo de asociación. Inóculos seleccionados en una zona húmeda es probable que no expresen las cualidades por los que fueron seleccionados si se los somete a condiciones de ambiente árido.
Por la excelente nodulación de la mayoría de las leguminosas nativas aquí presentadas, con nódulos grandes y rosados de plantas viviendo en condiciones ambientales naturales, es razonable pensar que las bacterias aquí presentes estarán en mejores condiciones de expresar su potencialidad que aquellas provenientes de una zona cuyas condiciones ambientales distan de las presentes en el área geográfica bajo estudio.
Si bien las áreas bajo cultivo presentan, en mayor o menor grado, subsidios energéticos (agua, nutrientes, etc) que permiten, en alguna manera, emparejar las distintas áreas geográficas, el contar con genotipos aptos para cada una de las zonas va a facilitar reducir tales subsidios con la consiguiente reducción de costos internos y externos (contaminación). Un proceso de fijación atmosférica de nitrógeno no limitado, se traduciría en una buena provisión de nitrógeno a la planta y en una mejor fijación de carbono y por consiguiente una mejor provisión de carbohidratos a las bacterias asociadas, creando un circuito potente. Las plantas leguminosas integrantes de un buen proceso de simbiosis tendría un muy buen desarrollo de biomasa para la suplementación del ganado en consumo directo o diferido; por otro lado, los suelos derivados tendrán mejor fertilización nitrogenada para su sustentabilidad.
Con respecto a la identificación de las bacterias, los primeros trabajos de ajuste de las técnicas de aislamiento aquí presentadas además de poner a punto la técnica, permitieron inferir que la misma especie puede entrar en simbiosis con distintas cepas bacterianas, dado que nódulos provenientes de distintas plantas de la misma especie y del mismo sitio de muestreo presentaron distintos tipos de colonias, a priori indicarían distintas cepas. Para una mejor apreciación de esta característica hemos propuesto para continuar con los trabajos futuros hacer el macerado de los nódulos por separado en vez de hacer un macerado correspondiente al total de las plantas del mismo sitio de muestreo.
Este trabajo es clave para comenzar el camino del desarrollo de inóculos propios para las zonas áridas malarguinas, no existentes hasta el momento.

CONCLUSIONES

En este trabajo se pudo comprobar la nodulación en la mayoría de las leguminosas nativas muestreadas, respondiendo en parte al primer objetivo específico propuesto. Se logro colectar un buen número de nódulos. Los nódulos se observaban a simple vista, la mayoría de ellos de gran tamaño y de color rosado.
La colección de nódulos lograda nos permitirá la caracterización de las cepas presentes en cada estación de muestreo con las técnicas de aislamiento propuesta en este trabajo.

REFERENCIAS

Brenner, D. J.; Noel R. Krieg; James T. Staley (Eds) (2005). Bergey's Manual of Systematic Bacteriology. Volume Two: The Proteobacteria (Part C). Second Edition. Pag. 325-361. New York. Springer.

Brown, Marco; Olymar. L.; Reyes Gil, Rosa E. (2003). Tecnologías limpias aplicadas a la agricultura. Interciencia, vol. 28, núm. 5, pp. 252-258

Domínguez, P. y Domínguez, A. (1994). Nitratos en hortalizas españolas. Agrícola Vergel. Año XII. No 147. Valencia. España. p. 18-20.

FAO 1995. Manual técnico de la fijación simbiótica del nitrógeno: Leguminosa/Rhizobium.

FAO. 1990a. Agua y desarrollo agrícola sostenible. Una estrategia para la aplicación del Plan de Mar del Plata para el decenio de 1990. FAO, Roma

FAO/CEPE. 1991. Legislation and Measures for the Solving of Environmental Problems Resulting from Agricultural Practices (With Particular Reference to Soil, Air and Water), Their Economic Consequences and Impact on Agrarian Structures and Farm Rationalization. Comisión Económica de las Naciones Unidas para Europa, (CEPE) Y FAO, Agri/Agrarian Structures and Farm Rationalization Report No. 7. Naciones Unidas, Ginebra.

Hallberg, G. R. (1989). Nitrate in groundwater in the United States. En: Nitrogen manegement and groundwater protection. R. F. Follet (Ed). Elsevier, Amsterdam. p: 69-73.

Sagardoy, J. A. (1993). Una visión global de la contaminación del agua por la agricultura. En: Prevención de la contaminación del agua por la agricultura y actividades afines. Informe sobre temas hídricos. FAO. Roma. Italia. p. 50-52, 1993.

Sessitsch A. et al. Advances in Rhizobium research. En: Critical Reviews in Plant Sciences. 2002. Vol. 21, no. 4, p. 323-328.

UNEP- Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, 2006. Acuerdos Ambientales y Producción más Limpia.

CARACTERIZACIÓN ECOLÓGICA DE LOS RÍOS DEL DEPARTAMENTO DE MALARGÜE, MENDOZA: RESULTADOS DEL RÍO SALADO

N. Barbero [(1)], G. Bustamante [(2)], A. Castaño [(1)], P. Garelis[(2)], G. Viollaz[(3)].

[(1)] *International Center for Earth Sciences-Comisión Nacional de Energía Atómica, Cmte Rodríguez esq. Esquivel Aldao, Malargüe, Mendoza, Argentina, barbero@cnea.gov.ar*

[(2)] *PROICO 2-3514 Facultad de Química, Bioquímica y Farmacia, UNSL, Chacabuco y Pedernera, San Luis, Argentina, pgarelis@gmail.com*

[(3)] *Plan Estratégico Malargüe. Cmte Rodríguez esq. Esquivel Aldao, Malargüe, Mendoza, Argentina, mgviollaz@yahoo.com.ar*

RESUMEN

En el año 2004 a partir de la Política Nacional de Desarrollo y Ordenamiento Territorial se formuló el Plan Estratégico Territorial Argentino, el mismo se concibió como un proceso de construcción federal de consensos, conducido por el Gobierno Nacional pero apoyado en el trabajo participativo de los Gobiernos Provinciales y sus respectivos equipos técnicos. La Municipalidad de Malargüe, a través del Plan Estratégico Malargüe coordina y financia los trabajos realizados desde la primavera del 2009 por un equipo interdisciplinario conformado a solicitud del gobierno provincial para dar respuesta al Plan Director de Pesca. Luego del estudio base en todos los ríos del departamento, en el 2012 se consideró realizar estudios más amplios e intensivos en cada río, comenzando con el Río Salado. El objetivo general del proyecto es la caracterización y diagnóstico de las condiciones ecológicas de los ríos del Departamento de Malargüe, incluyendo las cuencas: Atuel, Salado, Malargüe, Grande, Barrancas y Colorado. En este trabajo se presentan los resultados completos de dos años de muestreo del Río Salado. Se establecieron un total de 10 estaciones de muestreo, 5 en el curso del Río Salado y el resto en sus tres afluentes (Arroyo Pedrero, Desecho y Las Leñas). En cada estación del año se hicieron estudios físico-químicos de agua y de ictiofauna. Se contrastaron los datos por estación del año y por sectores (cuenca alta, media y baja). Las determinaciones físico-químicas permitieron caracterizar las aguas de la cuenca como sulfatadas y/o cloradas, cálcicas y/o magnésicas (diagrama de Piper). Se registraron cuatro especies de peces a lo largo del curso del río, Hatcheria macraei, Oncorhynchus mykiss, Odontesthes bonariensis y Percihthys trucha con distribuciones bien marcadas según el sector de la cuenca

INTRODUCCIÓN

El estudio se llevó a cabo en la cuenca hidrográfica del río Salado, este constituye una sub-cuenca del río Atuel, con la particularidad de ubicarse íntegramente en el Departamento de Malargüe, ubicado en el sector sur de la provincia de Mendoza.

El río Salado se forma por la confluencia de los arroyos El Deshecho y Las Leñas que tienen sus nacientes sobre los 3.000 m de altitud. El primero posee una dirección general sur – norte en su recorrido inicial, para girar luego al este. El Arroyo Las Leñas posee sus nacientes en el Cerro de Las Leñas y en el cordón de Los Entumidos que sirve de divisoria de aguas con la alta cuenca del río Grande en el Valle Hermoso. Presenta una dirección general norte – sur y se une al Desecho a los 2.050 m.s.n.m. para dar inicio al Salado que recorre la cuenca con dirección suroeste – noreste en un principio, para tomar luego orientación oeste – este en la localidad de Los Molles, dirección que no abandona hasta su unión con el río Atuel. Estos cursos principales están alimentados por una red de arroyos permanentes nacidos de cuerpos de hielo descubierto y cubierto (glaciares rocosos) y por el derretimiento de la nieve. A estos se suman arroyos

esporádicos que se ponen en funcionamiento por la fusión de la nieve o por lluvias a veces torrenciales de verano (ver Fig.1).

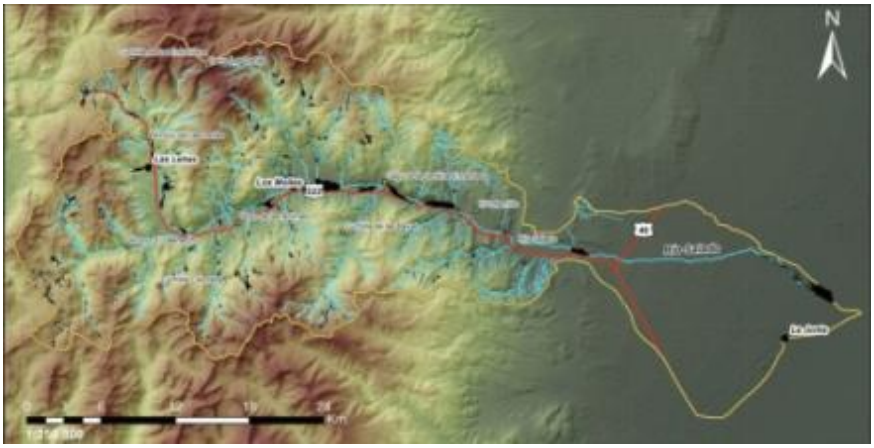


Figura 1: Delimitación de la Cuenca del Río Salado (Mikkan, et. al, 2012)

Los ambientes fluviales forman parte del ciclo hidrológico y reflejan la geoquímica y geomorfología de la cuenca de drenaje. Existe una gran correlación entre los factores geológicos, climáticos y ecológicos con la distribución de los organismos acuáticos.
También el nivel fluctuante de las aguas con sus picos de crecidas y épocas de estiajes, constituye un aspecto fundamental en los sistemas acuáticos especialmente en los ecosistemas de zonas semiáridas, pudiendo afectar significativamente a las comunidades que en él viven (Vazquez, et al., 1979, Margalef, 1983).
Los factores físico-químicos, la heterogeneidad del hábitat y los factores biológicos presentan una gradación constante desde las nacientes hacia la desembocadura del río y determinan la composición y estructura de los ensambles de peces en los ambientes fluviales (Bistoni&Hued, 2002). Las especies interactuantes en una comunidad se afectan unas a otras, de manera que de algún modo ellas mismas definen la composición taxonómica y la abundancia relativa de las especies. Asimismo, la ictiofauna de los arroyos y ríos tienden a cambiar sus patrones espaciales de distribución y uso del hábitat, debido a variaciones temporales asociadas con la reproducción, zona de cría, búsqueda de alimento y refugio (Gilliam et al., 1993; Videla &Bistoni, 1999; Vila-Gispert et al., 2002; Habit et al., 2003; Grenouillet et al., 2004).
Clima: La cuenca, climáticamente, se encuentra influenciada por masas de aire provenientes del Pacífico (Anticiclón del Pacífico) en su parte montañosa con precipitaciones invernales y vientos regulares del oeste. A su vez, el piedemonte presenta la influencia del Anticiclón del Atlántico con precipitaciones en verano dentro de un clima semiárido con tendencia al frío (Capitanelli, 1947).
Los ríos y arroyos presentan variaciones estacionales de caudal que se caracterizan por periodos de aguas altas (potamofase) durante los meses de octubre-marzo y de aguas bajas (limnofase) que se extienden de abril a septiembre. En los periodos de aguas altas estos ambientes fluviales están sometidos a drásticos cambios debido a los picos de crecientes frecuentes que afectan tanto la biota como la química del agua, siendo por lo tanto el factor primordial que rige la dinámica de las poblaciones de peces y de otros organismos que allí habitan (Vázquez, et al., 1979).
Ictiología: Mendoza pertenece a la subregión llamada Austral, en la que viven especies de peces de aguas templadas. Dentro de esta subregión, pertenece al dominio Andino y dentro de él a la provincia Subandino-Cuyana.

Geología:Las formas litologías de la cuenca presenta un modelado kárstico, importantes acumulaciones de yesos y la presencia de éstos formando sustratos bajo acumulaciones fluviales en la mayoría de los casos, han permitido la conformación de importantes relieves kársticos como dolinas de colapsos y aluviales principalmente. Las dolinas aluviales aparecen en numerosos sectores, pero el más destacado es un campo de dolinas que se desarrolla sobre una amplia bajada aluvial en el valle de Las Leñas, pocos kilómetros antes de arribar al centro de sky. Además las actividad volcánica de la cuenca se ha manifestado en diferentes periodos geológicos como en el Terciario y Cuaternario. Del vulcanismo más antiguo, restos de coladas de lavas básicas sobreviven a la erosión formando mesas lávicas en sectores del sur de la cuenca como resultado de una inversión del relieve volcánico. También se presenta el Modelado fluvial donde los conos aluviales son las geoformas fluviales más numerosas y extendidas como en el caso del gran cono elaborado por el río Salado en su salida al piedemonte y que sirve a asiento a la localidad de La Junta y toda el área agrícola adyacente. El resto de los conos tiene su origen en los sedimentos arrastrados y depositados por los cursos de agua durante los deshielos o por las crecidas estivales producidas por lluvias a veces torrenciales. La cubierta sedimentaria del río Salado se encuentra dispuesta sobre un basamento compuesto por rocas precámbricas, paleozoicas, mesozoicas y terciarias, de orígenes ígneo, metamórfico, efusivo y los sedimentos continentales y marinas, que por su diagenización y compactación han perdido su capacidad primaria de permitir el paso de los fluidos (Hernández y Martinis; 1983) y el río Salado y otros arroyos son producto del derretimiento de las nieves precipitadas y glaciares en la alta montaña, tanto de la cordillera Frontal como de la Principal, aportan sus aguas a la cuenca desde el oeste y sus regímenes son de tipo nival.

El objetivo del presente trabajo es proporcionar información sobre la población ictícola de la cuenca del río Salado y las principales características físico química de las aguas, con la premisa de aportar herramientas necesarias para el diagnóstico, manejo y monitoreo del recurso, tendientes a la implementación del Plan Director de Pesca.

ESTUDIO DE LA ICTIOFAUNA

Ubicación de las estaciones de muestreo:De acuerdo a la diversidad de hábitats, características geomorfológicas, orden del río, accesibilidad a los cursos de agua y presencia de sitios antropizados, se establecieron 7 estaciones de muestreo para la captura de peces, sobre el río Salado y sus principales tributarios: aguas abajo del puente sobre la RN 40, aguas arriba del Puente sobre la RN 40, aguas arriba del Puente del Infiernillo, en el sector de la Ripiera, arroyo El Pedrero, Arroyo Desecho y arroyo Las Leñas (Tabla I).

Tabla I: Puntos de muestreo con sus coordenadas

CUENCA	ESTACIÓN	LATITUD	LONGITUD	LUGAR
Río Salado	P1	35°13'5.47"S	69°38'35.25"O	Después del puente ruta Nac. 40
	P2	35°12'45.12"S	69°41'39.55"O	Antes del puente ruta Nac. 40
	P3	35°11'51.97"S	69°46'6.31"O	Puente el Infiernillo
	P4	35° 9'49.10"S	69°55'22.23"O	Frente ripiera los Molles
	P5	35° 9'1.12"S	69°56'24.31"O	Arroyo Pedrero
	P6	35°11'56.31"S	70° 4'25.97"O	Arroyo Desecho
	P7	35° 8'56.65"S	70° 4'12.25"O	Arroyo Leñas

Periodicidad del estudio: Los muestreos se llevaron a cabo en periodos de aguas bajas (AB) y altas (AA). El sitio de muestreo fue visitado en ocho oportunidades: 13-14/04/2012 (AB), 30-31/07/2012 (AB), 02-03/10/2012 (AA), 09-10/01/2013 (AA), 18-19/04/2013 (AB), 26-27/08/2010 (AB), 19-20/12/2013 (AA), 19-20/03/2014 (AA).

Materiales y Métodos: Para la captura de los peces se empleó un equipo de shock eléctrico de corriente continua pulsada LR-24 Electrofishers Smith Root, Inc., que opera con un rango de voltaje de 50 a 990 voltios. Se tomaron 10 submuestras en una transecta en zig-zag de aproximadamente 200 m durante cada período hidrológico (Llanos & Haro, 2001). La transecta se realizó a través de distintos ambientes del río: zonas de rabión, pozón, correderas y en lugares con o sin vegetación. Para disminuir la perturbación del ambiente durante el muestreo la trayectoria del mismo se orientó río arriba. Los ejemplares adormecidos por el shock eléctrico fueron colectados con redes de arrastre y manuales, contabilizados e identificados a campo y devueltos al agua sin ningún tipo de daño (ver Fig. 2).



Figura 2: Captura de ejemplares haciendo uso del Electrofish y redes de arrastre.

Resultados: Durante los dos años de muestreo se registró la presencia de 4 especies (ver Fig. 3): a) Trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*), b) Bagre del torrente (*Hatcheria macraei*), c) Perca (*Percichthys trucha*) y d) Pejerrey (*Odontesthes bonariensis*), todas ellas con diferentes densidades para cada estación y distribución a lo largo de la cuenca. Las especies más representativas durante los dos años de relevamiento fueron los bagres y las truchas; siendo los bagres los que presentaron una mayor densidad, con un valor de 0,028 ind/m^2 durante el primer año y de 0,031 ind/m^2 durante el segundo año, las truchas presentaron una densidad de 0,023 ind/m^2 y de 0,026 ind/m^2 (ver Fig. 3a) el segundo año de muestreo presentó mayores densidades para ambas especies y valores muy próximos entre ambas especies.



Figura 3: a) Ejemplares de truchas colectados en el Arroyo Desecho. b) Ejemplar de pejerrey colectado en el sitio de muestreo nº 1 del río Salado. c) Ejemplar de Perca capturado en el sitio de muestreo nº 1. d) Ejemplar de bagre colectado en el sitio de muestreo nº 1 del río Salado

Los tamaños de los ejemplares de *Oncorhynchus mykiss* oscilaron entre los 5 y 45 cm de longitud total, con un tamaño promedio de 18,21 cm. Los de *Hatcheria macraei* oscilaron entre 4,5 y 18 cm, de longitud total, con un tamaño promedio de 8,38 cm.
Los únicos ejemplares de *Odontesthes bonariensis* y *Percichthys trucha* capturados presentaron un tamaño de 8 cm y 11 cm respectivamente de longitud total, indicándonos esto que serían juveniles, en el caso del ejemplar de pejerrey según la metodología de análisis de frecuencia de tallas, rondaría los 3 meses de edad.
Comparando los valores de las densidades para cada punto de muestreo entre las estaciones para el primer año (ver Fig. 4), podemos observar que las estaciones más cálidas presentaron los valores más altos, llegando a 0,165 ind/m^2 en primavera y 0,26 ind/m^2 en verano. Los sitios con mayores densidades para la estación de verano, fueron los puntos de muestreo nº 2 y 5 con valores idénticos de densidad para la especie de bagre *Hatcheria macraei.*
Para la estación de primavera, los valores más altos se registraron en los puntos nº 1 y 2, donde la especie más abundante fue nuevamente el bagre *Hatcheria macraei*, con valores de 0,16 y 0,12 ind/m^2, seguidos por los puntos de muestreo nº 3 y 5 con valores de 0,048 y 0,06 ind/m^2, siendo para el sitio número 3 *Hatcheria macraei* la especie más abundante y *Oncorhynchus mykiss* en el sitio número 5.
Para la estación de otoño, el valor más alto se registró en el punto nº 1 con una densidad de 0,065 ind/m^2, siendo *Hatcheria macraei* la especie más abundante, para el resto de los puntos de muestreo al igual que los resultados del período de invierno se obtuvieron valores bajos que oscilaron 0,0060 ind/m^2 promedio.

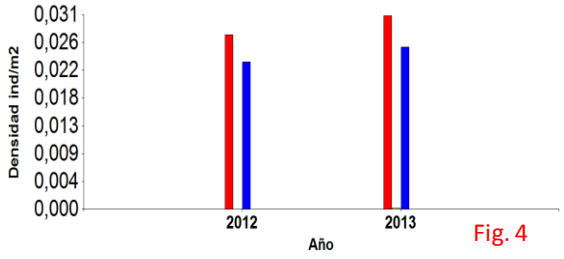


Fig. 4

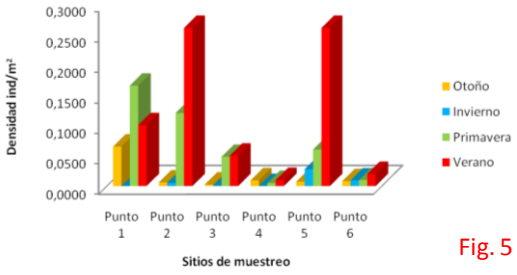


Fig. 5

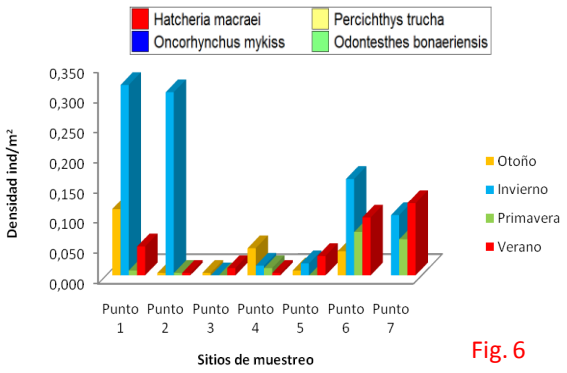


Fig. 6

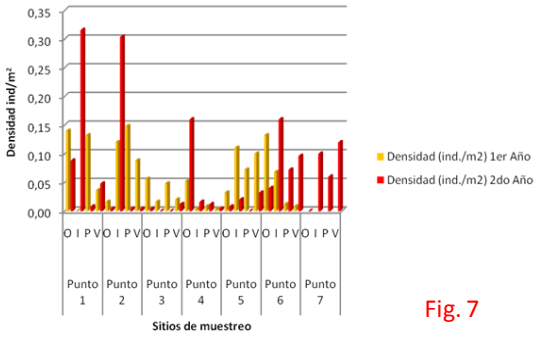


Fig. 7

Figura 4: Densidades promedios de las especies para ambos años de muestreo. Figura 5: Densidad para el primer año de muestreo. Figura 6: Densidad para el segundo año de muestreo. Figura 7. Grafico comparativo entre ambos años de muestreo

Los resultados obtenidos sobre los valores de densidades para cada punto de muestreo entre las estaciones del segundo año (ver Fig. 5), difieren significativamente de los observados durante el primer año. Siendo los mayores registros en la estación de invierno, con valores máximos de 0,32 ind/m^2, seguido por el valor de verano con 0,12 ind/m^2, otoño con 0,11ind/m^2 y por último la primavera con 0,072 ind/m^2.

Los sitios con mayores densidades para el invierno, fueron los puntos de muestreo nº 1 y 2 con valores de 0,32 y 0,30 ind/m^2para la especie de bagre *Hatcheria macraei* y de 0,16 y 0,1 ind/m^2 para la especie *Oncorhynchus mykiss* en los puntos nº 6 y 7.

Para la estación de verano, los valores más altos se observaron en los puntos nº 6 y 7 con 0,096 y 0,12 ind/m^2, en donde la especie más abundante fue *Oncorhynchus mykiss*, de 0,048 en el punto nº 1 y 0.032 ind/m^2 en el punto nº5, en estos sitios la especie más abundante fue *Hatcheria macraei.*

Para la estación de otoño, los valores más altos se registraron en los puntos nº 1 y 4, donde la especie más abundante fue nuevamente el bagre *Hatcheria macraei*, con valores de 0,11 y 0,045 ind/m^2, seguido por el punto de muestreo nº 6 con una densidad de 0,04 ind/m^2, siendo para este sitio *Oncorhynchus mykiss* la especie más abundante.

Para la estación de primavera, los puntos de muestreo con valores de densidades significativas fueron los sitios nº 6 y 7 con 0,072 y 0,06 ind/m^2, siendo *Oncorhynchus mykiss* la especie más abundante.

Se diferenció a la cuenca en tres sectores según las características geomorfológicas, secciones limnológicas, parámetros hidrológicos y termales. Se observó cómo variaron las densidades promedios de las cuatro especies presentes a lo largo de la cuenca, entre el tramo bajo, medio y alto (ver Fig. 6).

Los mayores valores de densidad se registraron en los sectores bajo con 0,061 ind/m^2 para *Hatcheria macraei* y alto con 0,072 ind/m^2 para *Oncorhynchus mykiss* (ver Fig. 7). El sector medio presentó bajos valores de densidad durante los dos años de muestreo,

con 0,009 ind/m^2 para *Oncorhynchus mykiss* y 0,003 ind/m^2*Hatcheria macraei.* Las Percas (*Percichthys trucha*) y Pejerreyes (*Odontesthes bonariensis*), presentaron densidades poco significativas.

La riqueza total a lo largo de los dos años de muestreo fue de 4 especies, de las cuales dos son especies nativas (*Hatcheria macraei* y *Percichthys trucha*) y dos especies exóticas o introducidas (*Oncorhynchus mykiss* y *Odontesthes bonariensis*). No se registró en simultáneo para ninguna estación o punto de muestreo la presencia de las 4 especies, el mayor número de especies encontradas en una estación y punto de muestreo fue de 3 especies (*Hatcheria macraei*, *Oncorhynchus mykiss* y *Odontesthes bonariensis*) en el punto 1, estación de primavera y segundo año de muestreo (ver Fig. 8).

El valor promedio de riqueza específica (ver Fig. 9) fue de 1, muy marcado en los puntos de muestreo 6 y 7. El punto de muestreo número 2 presentó en más oportunidades la presencia de 2 especies en ambos años (*Hatcheria macraei* y *Oncorhynchus mykiss)* los puntos de muestreo restantes mostraron una alternancia de riquezas entre estaciones y año de muestreo.

La estimación del índice de diversidad α puntual, es la diversidad de una comunidad particular considerada homogénea, que refleja las relaciones ecológicas que se encuentran en un espacio puntual. Se consideraron dos métodos para medir la composición de especies, la riqueza específica (S) que indica el número de especies existentes en el ambiente y la diversidad de Shannon and Wiener (H´) que expresa la relación entre el número y la abundancia de las especies. Valores altos de este índice indican una mayor uniformidad o equitatividad, es decir que la gran mayoría de las especies tienen abundancias similares. Valores bajos indicarían que algunas especies son más abundantes o dominantes.

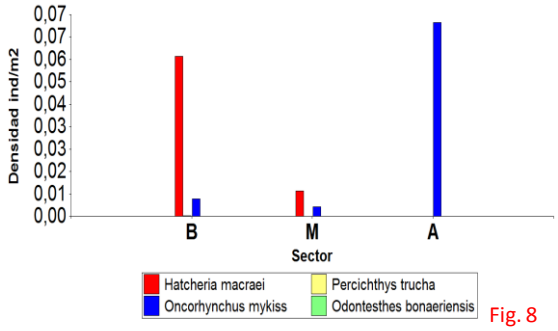


Fig. 8

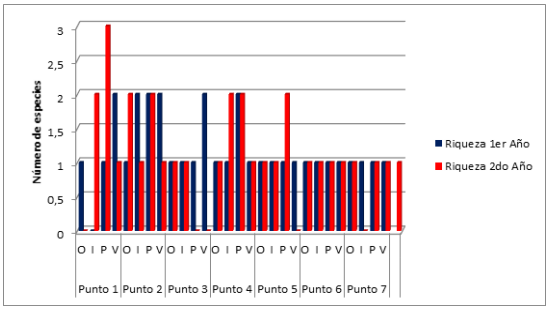


Fig. 9

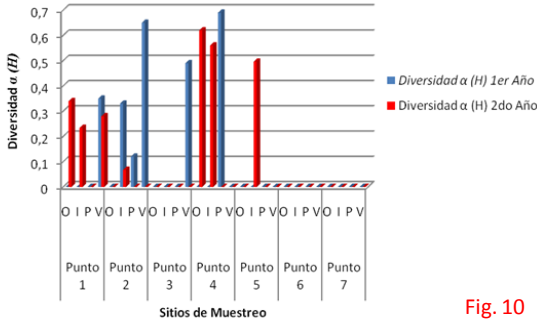


Fig. 10

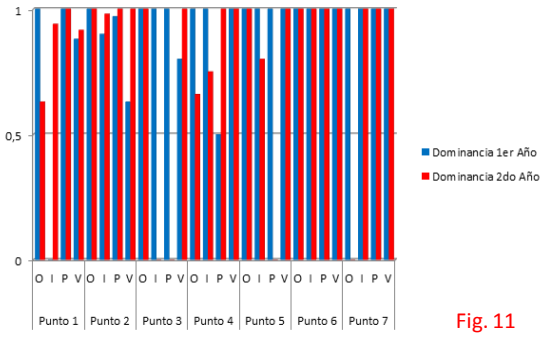


Fig. 11

Figura 8: Densidad de las especies por sector de la cuenca. Figura 9: Riqueza específica por estación y por año de muestreo. Figura 10: Valores de Diversidad α (H) por estación y por año de muestreo. Figura 11: Valores de Dominancia por sitio y por año de muestreo

Los valores registrados para los 8 muestreos llevados a cabo durante los dos años, oscilaron entre 0 y 0,7 (ver Fig.10), los puntos de muestreo con menores valores de Diversidad α, fueron los sitios nº 3 con Diversidad igual a cero para las estaciones de otoño, invierno y primavera, nº 5 con Diversidad igual a cero en otoño, primavera y verano, nº 6 y 7 con una Diversidad igual a 0 en todas sus estaciones. El punto de muestreo con mayor Índice de Diversidad fue el nº 4 con un valor promedio de 0,5, los puntos nº 1 y 2 presentaron valores promedios de 0,3.
La Dominancia se estimó a través del índice de Berger-Parker (d) (Magurran, 1989; Moreno, 2001). Este índice tiene en cuenta la representatividad de las especies con mayor valor de importancia, sin evaluar la contribución del resto de las especies. Altos valores del índice, indican que pocas especies son las más abundantes o dominantes en el ensamble. Lo observado para el curso del río y sus tributarios para ambos años de muestreo, es que existen dominancias muy marcadas con valores igual a 1 o próximos a 1 en la totalidad de los sitios de muestreo, el primer año solo presentó un valor igual a 0 en el sitio nº 1 para la estación de invierno, en 6 oportunidades valores menores a 1 y en 21 oportunidades valores iguales a 1 (ver Fig.11). El segundo año de muestreo presentó valores igual a 0 en cinco oportunidades, para los puntos nº 3 en las estaciones de invierno y primavera, nº 5 primavera, nº 7 otoño. Para el resto de los puntos de muestreo y estaciones, el valor fue mayor a 0,5 y en 17 oportunidades igual a 1.
Se caracterizó la granulometría de los sitios en la que se capturaron ejemplares de las especies presentes en la cuenca, con el fin de identificar algunos de los requerimientos y usos de microhábitats por parte de estas (ver Tabla II).

Tabla II: Porcentaje de granulometría del sustrato en los 7 sitios de muestreo

Sitio / Tamaño	Punto 1	Punto 2	Punto 3	Punto 4	Punto 5	Punto 6	Punto 7
<1 cm	0%	10%	30%	0%	10%	0%	0%
1-7 cm	10%	10%	40%	10%	70%	40%	20%
7-15 cm	20%	70%	20%	70%	15%	20%	30%
15-30 cm	70%	10%	10%	20%	0%	10%	20%
30-60 cm	0%	0%	0%	0%	5%	20%	30%
60-1 cm-m	0%	0%	0%	0%	0%	10%	0%
>1 m	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%

Los porcentajes de granulometría son reflejo del tipo de flujo y velocidad de la corriente, disminuyendo el tamaño del sustrato desde las nacientes-río abajo.
Según la velocidad de la corriente, el tipo de flujo y disponibilidad de hábitats se pueden diferenciar tres zonas que se correlacionan con la distribución espacial de las especies. La zona baja de la cuenca (puntos 1, 2 y 3 de muestreo) en los que el flujo rápido es de alrededor del 40 % y el flujo medio del 60%, con respecto a los microhábitats se observó un predominio de correderas en un 70 % y un 30 % de rabiones. La zona del Valle de los Molles presentó una mayor proporción de flujo medio, siendo predominantes los hábitats de correderas en un 80 % y 20 % de rabiones; por último los arroyos Desecho y Leñas los cuales variaron notoriamente uno del otro en el tipo de flujo y hábitats, siendo más frecuentes los microhábitats de correderas medias a rápidas en un 80% respecto a los rabiones en el arroyo Leñas y una mayor proporción de

correderas rápidas 70% y 30% de rabiones en el arroyo Desecho, debido al plano de inclinación que presenta en todo su recorrido (ver Fig. 12,13 y 14).



Figura 12: Microhábitat de pozón (río Salado)
Figura 13: Microhábitat de corredera (rio Salado)
Figura 14: Microhábitat de rabión (arroyo Desecho)

Durante los relevamientos se pudo observar un gran desarrollo algal en el cauce del arroyo Leñas aguas abajo del complejo turístico Valle de Las Leñas y en el cauce del río Salado, aguas arriba y aguas abajo del Valle de los Molles (ver Fig. 15).
Tanto los arroyos Desecho como Pedrero no presentaron blooms algales en sus cursos en ningún período muestreado (ver Fig. 16).
La gran abundancia de algas en ciertos sectores del arroyo Leñas y cuenca media del río Salado puede deberse tanto a factores naturales de temperatura, luz y nutrientes como también a aportes de compuestos fosforados y nitrogenados por acción antrópica.



Figura 15: Presencia de algas en las riberas y cauce del arroyo Leñas.
Figura 16: Imagen del arroyo el Desecho, con el lecho libre de algas.

Proporción de individuos de columna de agua y béntica: Como se observa en el gráfico de las abundancias de los individuos en los diferentes sitios de muestreo a lo largo del curso (ver Fig. 17) y al igual que lo observado en las 4 estaciones durante los dos años de muestreos. Existe una mayor proporción de especies bentónicas (bagres) entre los sitios 1 y 2 y de columna de agua (truchas) en los sitios 6 y 7.

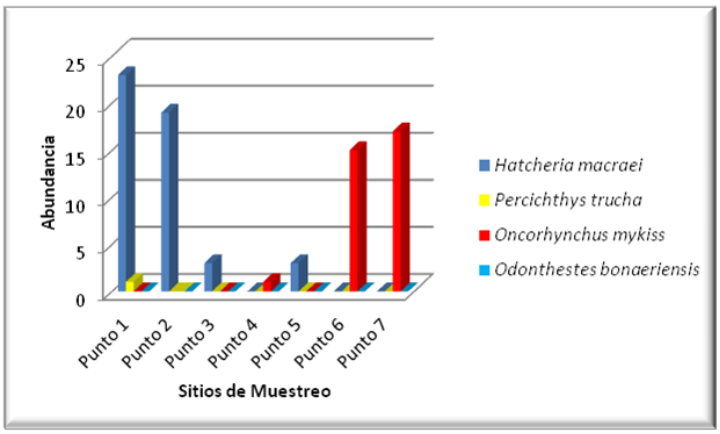


Figura 17: Abundancias promedio de las especies por sector de la cuenca

Proporción de peces enfermos: No se observó en los 7 sitios de muestreo a lo largo de la cuenca del río Salado la presencia de individuos con enfermedades, tumores, erosiones o anomalías externas, durante los muestreos realizados en cada estación.

Conclusiones: La realización de este estudio de base sobre el ensamble de peces en la cuenca del río Salado, arroja resultados preliminares que permiten implementar medidas de manejo del recurso ictícola.

La escasez de especies o la poca diversidad de especies son características de los ambientes acuáticos templados de cordillera. La presión antrópica y el efecto de la introducción de especies exóticas, se ven reflejadas en los bajos valores de densidad de peces tanto nativos como exóticos. Otro indicador de esto, son los tamaños promedios registrados durante la totalidad del muestreo y en los tres sectores de la cuenca.

En base a los resultados observados a campo y obtenidos del análisis de Dominancia, se diseñó un mapa con las distribuciones de las especies en la cuenca (ver Fig. 18)

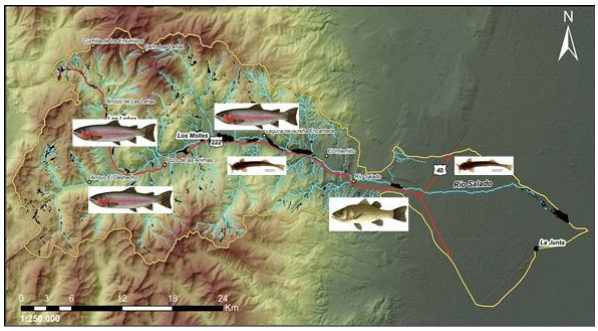


Figura 20: Distribución de las diferentes especies en la cuenca

Los resultados coinciden con la teoría de zonación de ríos, siendo las cabeceras o nacientes zonas de trucha y la cuenca media a baja zona de bagre.Este patrón de distribución espacial según las características geomorfológicas, secciones limnológicas, parámetros hidrológicos y termales en tres zonas, se correlaciona con la presencia de las dos especies encontradas a lo largo de la cuenca. Una "zona de truchas" en los tributarios del río Salado (salvo arroyo Pedrero), una "zona de transición" en Los Molles con truchas y bagres y una "zona de bagres" en la parte baja de la cuenca.

Se registró la presencia de perca (*Percichthys trucha*) en la zona baja de la cuenca en la estación de verano de 2014, su baja frecuencia de aparición quizás esté relacionada con

una gran mortandad de esta especie años anteriores producto de enfermedades aguas debajo de la zona de muestreo.
El único ejemplar de *Odontesthes bonariensis* encontrado en el sitio nº 1 de muestreo es considerado como especie turista, las especies (o individuos) turistas son aquellos que en forma estocástica llegan al lugar del muestreo. Su presencia puede no ser tan aleatoria, ya que ciertos fenómenos físicos como la cercanía geográfica del área de origen, corrientes de aire o de agua, condiciones orográficas, etc., pueden favorecer su frecuencia. Las especies turistas se encuentran en la comunidad por periodos breves, no se reproducen en ella ni mantienen poblaciones estables.

ESTUDIO FISICO-QUÍMICO DE LAS AGUAS

Ubicación de las estaciones de muestreo: Se establecieron 5 puntos sobre el Río Salado, 1 punto sobre el arroyo Desecho, 2 puntos sobre el arroyo Pedrero y 2 puntos sobre el arroyo Las Leñas (Tabla III).

Tabla III: Puntos de muestreo con sus coordenadas

CUENCA	ESTACIÓN	LATITUD	LONGITUD	LUGAR
Río Salado	P1	35°13'5.47"S	69°38'35.25"O	Después del puente ruta Nac. 40
	P2	35°12'45.12"S	69°41'39.55"O	Antes del puente ruta Nac. 40
	P3	35°11'51.97"S	69°46'6.31"O	Puente el Infiernillo
	P4	35° 9'49.10"S	69°55'22.23"O	Frente ripiera los Molles
	P5	35° 9'1.12"S	69°56'24.31"O	Arroyo Pedrero
	P6	35° 9'7.94"S	69°56'50.0"O	Puente los Molles
	P7	35°11'56.31"S	70° 4'25.97"O	Inicio Arroyo Desecho
	P8	35°12'18.06"S	70° 4'10.05"O	Arroyo el Desecho
	P9	35° 8'56.65"S	70° 4'12.25"O	Arroyo Leñas
	P10	35° 7'4.27"S	70° 4'8.34"O	Inicio Arroyo Leñas
	P11	35° 16'4.51"S	69°55'22.23"O	Hotel Termas

Periodicidad del estudio: Los muestreos se realizaron durante 2 años (2012 y 2013), uno por cada estación del año (otoño, invierno, primavera, verano).
Materiales y Métodos: El análisis consistió en determinar las concentraciones (mg/l) de aniones (cloruros, carbonatos, bicarbonatos o carbonato ácido, sulfatos, nitratos, fosfatos), cationes (calcio, magnesio, sodio, potasio, Amonio), alcalinidad total, sólidos disueltos totales (SDT), el grado de dureza total (ºF), la unidad nefelométrica deturbidez (NTU) y las propiedades físicas *in situ*, como temperatura del agua, Ph, conductividad eléctrica (µS/cm), salinidad (ppt) y oxígeno disuelto (ppm) de las agua.
Para las determinaciones *in-situ* se utilizaron los siguientes instrumentos: JencoModel 3250&3251 (Conductividad/Salinidad/Temperatura), pHMetro Digital Altronix, modelo TPA-III (pH) y DeluxWater and SoilAnalysis Kit, Model: I-60 (Oxígeno disuelto). En las determinaciones de laboratorio (Laboratorio del Complejo Minero Fabril San Rafael, Mendoza) fueron utilizados los siguientes equipos: Espectrofotómetro de absorción molecular METROLAB 1700 Uv Vis, Espectrómetro de absorción atómica VARIAN AA240, Turbidímetro HACH 2100, PHmetro ORION 8010 y Conductividad/TDS/ºC/ºF OAKTON.
Los datos fueron analizados estadísticamente mediante el uso del programa Infostat (Di, Rienzo, 2014).Inicialmente se probó la normalidad de los datos y luego de esto se aplicaron técnicas estadísticas no paramétricas.

Para una caracterización más detalladade la cuenca se estudiaron los efectos temporales y espaciales sobrecada una de las variables. En la escala temporal se buscóuna incidencia de la estación del año (otoño, invierno, primavera, verano) sobre los valores de las variablesy en la escala espacial se buscó la presencia de efectos locales que modificaran los resultados físico-químicode las aguas y para ello se dividió la cuenca en sectores, primero se separó la cuenca en alta (A), media (M) y baja (B) y se buscaron diferencias significativas en los resultados. Luego de igual forma se buscaron diferenciassegún las muestras fueran tomadas en el rio salado o en los afluentes. En todos los casos se analizaron los datos buscando diferencias significativas al 5 % utilizando las pruebas Kruskal Wallis.

Análisis de datos y resultados: En la figura 19 se grafican las variables que han presentado diferencias significativas debidas a la estación de año.

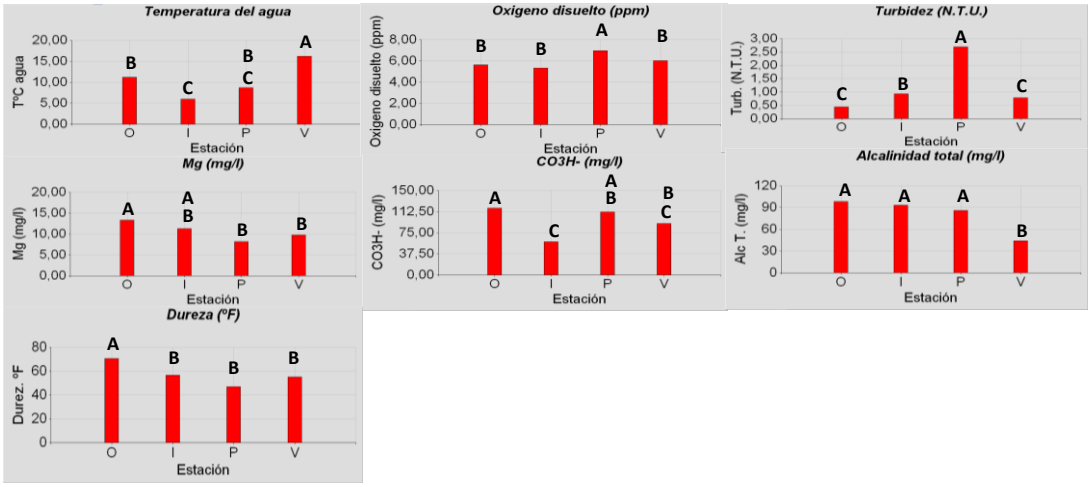


Figura 19: Las barras representan los valores promedio de la variable en cada una de las 4 estaciones en el siguiente orden: otoño (O), invierno (I), primavera (P) y verano (V). Las letras diferentes sobre cada una de las barras indican diferencias significativas al 5%.

En la temperatura del agua los valores más bajos se presentan en invierno y progresivamente fue aumentando hasta el verano donde a partir de allí comienza a bajar.En primavera los valores más altos se presentaron en oxígeno disuelto y turbidez; en otoño los más altos en dureza y en verano los más bajos se tuvieron con la alcalinidad total. El resto de las variables se comportaron sin diferencias significativas entre estación del año.

En la figura 20 se representa un croquis de la cuenca con los puntos de muestreo y la división que se realizó para el análisis de las variables por sectores.

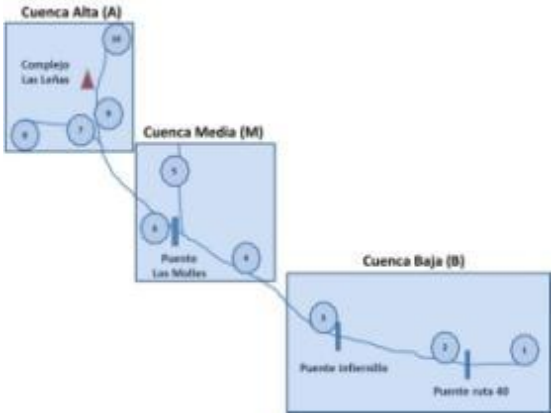


Figura 20: Croquis de la cuenca: Se representó la separación por sectores de cada uno de los puntos de muestro para el análisis del efecto zonal sobre las variables analizadas.

En los resultados del análisis por sectores en general los valores más bajos se obtuvieron en la cuenca alta y los más altos cuenca abajo.

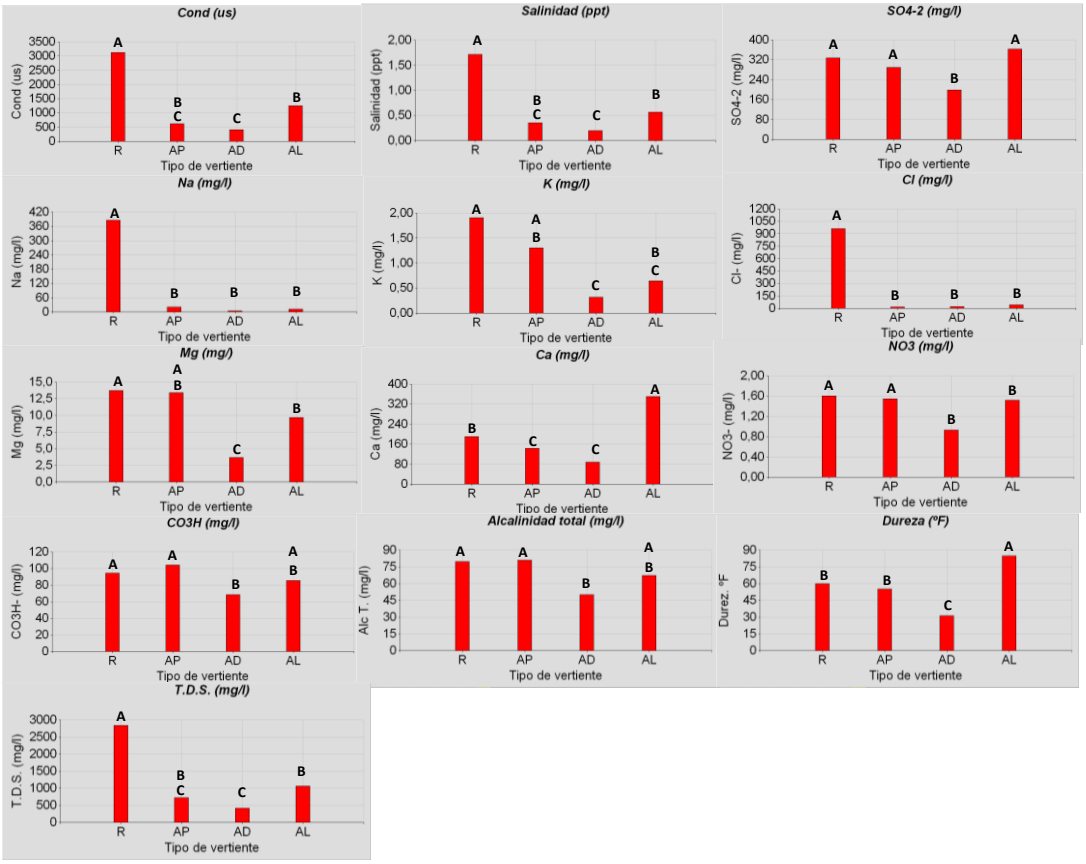


Figura 21: Las barras representan los valores promedio de la variable en cada tipo de vertiente: Río Salado (R), Arroyo Pedrero (AP), Arroyo Desecho (AD) y Arroyo Las Leñas (AL). Las letras diferentes sobre cada una de las barras indican diferencias significativas al 5%.

El siguiente análisis se corresponde al estudio de las aguas teniendo en cuenta el origen de las mismas, aquellas que provienen del río salado y las que provienen de cada uno de los arroyos por separado. En la figura 21 se grafican los valores promedio de las variables que mostraron diferencias significativas entre vertientes.

El Río Salado (R) presentó valores altos en la mayoría de las variables (conductividad, salinidad, sólidos disueltos totales, sodio y cloruros). En cambio el Arroyo Desecho presento los valores más bajos para los sulfatos, los nitratos, el magnesio y también en la dureza de las aguas. En el caso del elemento calcio, el Arroyo Las Leñas (AL) mostró un valor significativamente superior al resto de las vertientes. Los componentes mayores (cloruros, sulfatos, bicarbonatos dentro de los aniones, y calcio, sodio, potasio, magnesio dentro de los cationes) se encontraron siempre en concentraciones mayores a 1 mg/l. Concentraciones de este orden en el ión nitrato se deben generalmente a contaminación orgánica. Todos los sectores presentaron valores por encima de 1 mg/l de nitratos y lo mismo sucedió con el análisis por vertientes con la excepción del Arroyo Desecho con un promedio de 0,93 mg/l (ver Fig. 21).

En relación al contenido en conjunto de cationes y aniones se procedió a la caracterización de las aguas por medio del Diagrama de Piper, un diagrama triangular donde se representa la proporción de componentes de una sustancia, en este caso el agua de las vertientes. Por un lado se presenta la composición porcentual de los cationes, por el otro la de los aniones y finalmente se unifica esta información en un rombo superior, cada triangulo aporta una información diferente, en base a este diagrama se procedió a la caracterización de las aguas. Para esta parte del trabajo se pasaron los datos expresados en miligramos por litro a porcentaje de los cationes principales, calcio, magnesio, sodio y potasio (diagrama expresa el contenido de sodio y potasio en conjunto) y lo mismo para los aniones principales, sulfato, bicarbonato y cloruros.

Se procedió de forma similar que en el análisis anterior, primero se estudió el comportamiento de las aguas de toda la cuenca y posteriormente un análisis ya no temporal sino solo espacial.

La figura 22 muestra los resultados en base al diagrama de Piper, las aguas se comportan como sulfatadas y/o cloradas, cálcicas y/o magnésicas. Desde los cationes son cálcicas y desde los aniones como sulfatadas, bicarbonatadas y cloruradas.

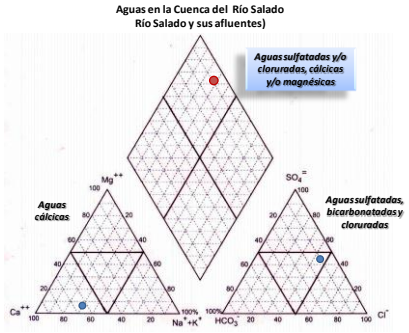


Figura 22: Diagrama de Piper caracterizando las aguas de la Cuenca del Río Salado.

El paso siguiente fue la separación de la cuenca en tres zonas en búsqueda de una diferenciación que nos aporte más información de lo que sucede en los distintos sectores de la cuenca y luego la caracterización de cada una de ellas (ver Fig. 23)

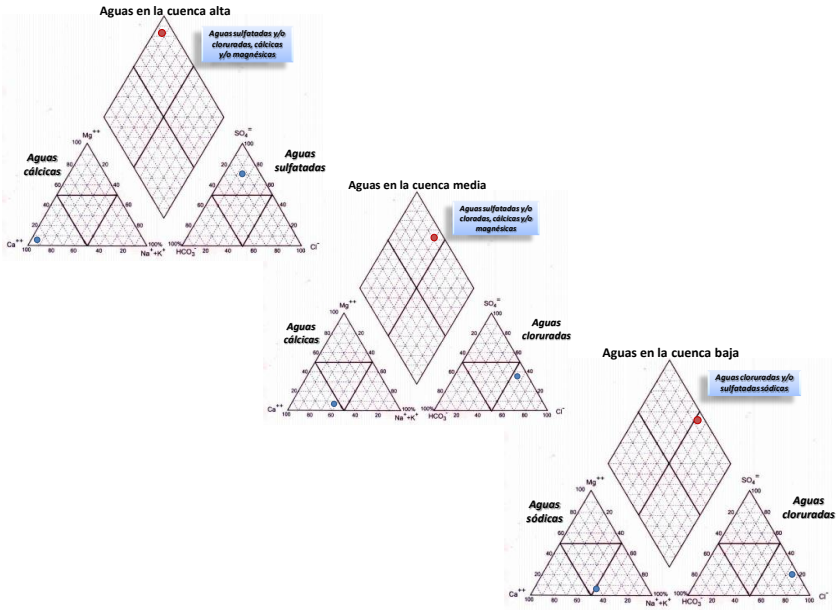


Figura 23: Diagrama de Piper caracterizando las aguas de la cuenca alta, media y baja

La caracterización final de cada sector vario, las aguas en la cuenca alta y media se muestran sulfatadas y/o cloradas, cálcicas y/o magnésicas pero se comportan como cloruradas y/o sulfatadas sódicas. En este nuevo análisis la relación de cationes y aniones mostro diferencias. En la cuenca baja la composición porcentual de cationes se modifica siendo ahora aguas sódicas. Para los aniones este análisis informa que en las nacientes de la cuenca las aguas están enriquecidas en sulfatos y a medida que desciende las aguas se van enriqueciendo en cloruros.

Posteriormente se realizaron los diagramas de Piper para cada una de las vertientes. En la figura 24 se puede apreciar que nuevamente la caracterización final de las de aguas es todas ellas sulfatadas y/o cloradas, cálcicas y/o magnésicas; los arroyos mostraron una caracterización de aniones y cationes similar, mientras que en el Río Salado las aguas son magnésicas, cálcicas y sódicas yestán enriquecidas en cloruros.

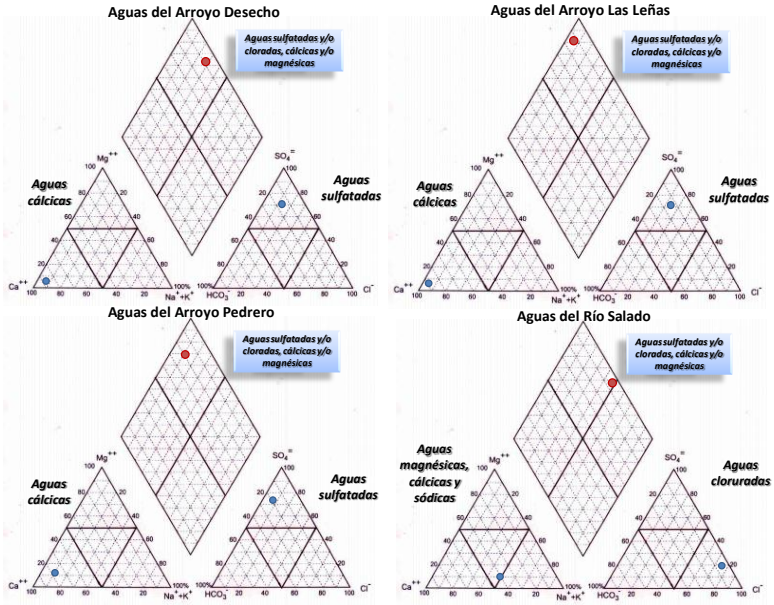


Figura 24: Diagrama de Piper caracterizando las aguas en cada vertiente.

Discusión y conclusiones: Las aguas naturales adquieren su composición química mediante un proceso complejo, donde intervienen factores geológicos, hidrogeológicos, geomorfológicos, climáticos, pedológicos, antrópicos, químico-físicos y otros (Fagundo, 1990). Sumado a esta compleja relación de procesos que pudieran dar origen a la composición química de las aguas del presente trabajo se suma la falta de un marco de referencia que permita calificar las aguas para la vida acuática.En cuanto a la calidad de los recursos hídricos superficiales en Argentina la Ley Nacional Nº 25.688, régimen de gestión ambiental del agua, en su Artículo 7, establece que corresponde a la Autoridad Nacional establecer los parámetros de calidad de agua para los distintos usos, pero sólo se tiene las calificaciones para uso de consumo humano (alimentación y uso doméstico definidos por la Ley Nº 18.284, Código Alimentario Argentino).
Por otro lado, el Decreto Nacional Nº 831/93, que reglamenta la Ley Nacional Nº 24.051 y la Nº 24.585, fija la concentración máxima permisible sólo de ciertas sustancias peligrosas en lo que respecta al consumo humano y animal, la protección de la vida acuática, la recreación y la pesca industrial, sin hacer referencia a los parámetros microbiológicos de calidad de agua y de otras sustancias y elementos químicos que no representen sustancias peligrosas. Es decir que, exceptuando el consumo humano, no existe aún una normativa específica que defina los estándares de calidad para cada uno de los usos potenciales del agua. No muy distinto sucede a nivel mundial donde también se hace referencia sólo a sustancias peligrosas.
Con respecto a la razón de naturaleza de las aguas, en general lo que observo en este estudio fue que las aguas en la cuenca alta está más relacionada con la composición química de las rocas, y a medida que las aguas atraviesan la cuenca se van enriqueciendo en otras sales no contenidas en los materiales geológicos, especulando que son producto de la actividad antrópica.
Con el presente estudio el origen de los elementos químicos es difícil de dilucidar y no es posible determinar si ellos provienen sólo de la lixiviación de rocas preexistentes o están mezclados con aportes hidrotermales o de actividad antrópica, pues el proceso de transporte y precipitación sería el mismo.

CONCLUSIONES GENERALES

El análisis físico-químico permitió caracterizar las aguas de la cuenca como sulfatadas y/o cloradas, cálcicas y/o magnésicas, con riquezas diferenciadas de aniones y cationes según la zona de la cuenca. Se registraron cuatro especies de peces a lo largo del curso del río, *Hatcheria macraei, Oncorhynchus mykiss, Odontesthes bonariensis* y *Percihthys trucha* con distribuciones bien marcadas según el sector de la cuenca
Es imprescindible llevar a cabo políticas de manejo del recurso ictícola y ampliar los estudios tanto en la cuenca del río Atuél como en el resto de las cuencas del Departamento, a fin de preservar las especies nativas tanto de peces como de macroinvertebrados bentónicos que pueblan nuestros cursos de agua, tomar mejores decisiones en políticas de siembra de especies exóticas y el cuidado u optimización de este recurso en los lugares en los que ya fueron introducidas.

Agradecimientos: Agradecemos a la Municipalidad de Malargüe por solventar los gastos de este trabajo. Al Laboratorio del Complejo Fabril Minero San Rafael de la CNEA por los análisis químicos y agradecemos también la colaboración de los profesores y alumnos de la Escuela Nº

4-018 Gral. M. N. Savio y de la Escuela 4-191 D.H.Pierini que realizando sus pasantías en el ICES-CNEA han ayudado en las tareas de muestreo.
Un especial agradecimiento a los instructores de pesca Javier García, Rodrigo Videla, Jorge García, Franco Vergara y Facundo Labarta, por su valiosa participación en todos los muestreos, pues sin ella, este trabajo no hubiera sido posible.

REFERENCIAS

Bistoni, M. A. & Hued A. C. 2002. *Patterns of fish species richness in rivers of the central region of Argentina.Brazilian* Journal Of Biology 62(4):1-12

Capitanelli, R., 1967, *Climatología de Mendoza*, en: boletín de estudios geográficos n° 54 – 57, vol. XIV, Instituto De Geografía, Fac. de Filosofía y Letras, Univ. Nac. de Cuyo, Mendoza.

Código Alimentario Argentino, *Capítulo XII, Artículos: 982 al 1079 - Bebidas Hídricas, Agua y Agua Gasificadas.* - Actualizado al 10/2012.

Di Rienzo J.A.; Casanoves F.; Balzarini M.G.; Gonzalez L.; Tablada M.; Robledo C.W. *InfoStatversión 2014*. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. URL (www.infostat.com.ar).

Fagundo Castillo, J. R. 1990. *Evolución química y relaciones empíricas en aguas naturales. Efecto de los factores geológicos, hidrogeológicos y ambientales.Hidrogeología* (Granada), 5: 33-46, 1990.

Hernandez, J. Y N. Martinis. 1983. *Particularidades de las cuencas hidrogeológicas explotadas con fines de riego en la provincia de Mendoza*. Instituto Nacional del Agua.

Ley 24585. Anexo IV. *Niveles guía de calidad de agua;* Ley Nº: 24051**.** *Residuos Peligrosos;* Ley Nº: 25688. *Régimen de Gestión Ambiental de las Aguas. Ley de presupuestos mínimos*.

López, H. L.; Menni, R. C.; Donato, M. &Miquelarena, A. M. 2008. Biogeographical revision of Argentina (Andean and Neotropical Regions): an analysis using freshwater fishes. J.Biogeogr.:1-16.

Llanos, V. & J. G. Haro. 2001. *Alimentación del bagre anguila Heptapterusmustelinus (Piscespimelodidae) en el río Anizacate (Córdoba, Argentina*). Bol. Acad. Nac. Cs. Córdoba 66: 41-48.

Margalef, R., 1983. *Lirnnología*. Ediciones Omega. Barcelona: 1010 pp.

Mikkan, R., et al. 2012. *Macrozonificación y Delimitación Territorial de la Cuenca del Río Salado – Departamento de Malargüe - Mendoza*. Informe Final. Municipalidad de Malargüe y Universidad Nacional de Cuyo.

Moreno, C. E. 2001. Métodos para medir la Biodiversidad. M&T- Manuales y Tesis SEA, vol. 1. Zaragoza, 84 pp.

Vázquez, JB; A López Robles; DF Sosa & MP Saez. 1979. *Aguas.*Pp. 139-211 en: JB Vázquez; RA Miatello& ME Roqué (eds). Geografíafísica de la provincia de Córdoba. Ed. Boldt. Buenos Aires

Videla, M. M. &Bistoni, M. A. 1999. *Composición y estructura de la comunidad íctica de un río serrano a lo largo de un gradiente altitudinal*.Iheringia,sériezoologia, (87):171-180

DINÁMICA Y GEOQUÍMICA GENERAL E ISOTÓPICA DEL AGUA SUPERFICIAL Y SUBTERRÁNEA EN LA PLANICIE ARENOSA DEL SUR DE CÓRDOBA, ARGENTINA

Bécher Quinodóz F.[ab] *y Blarasin M.*[b]

[a]*CONICET Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas. ARGENTINA*
[b]*Departamento de Geología, FCE FQ y N, Universidad Nacional de Río Cuarto, ARGENTINA*

e-mail: fbecher@exa.unrc.edu.ar

RESUMEN

La planicie arenosa del Sur de Córdoba, bajo un clima actual subhúmedo seco, constituye un palimpsest resultante de la yuxtaposición de un sistema eólico (Mar de Arena Pampeano) con el sistema fluvial río Quinto. El objetivo del trabajo es realizar la caracterización dinámica y geoquímica (general/isotópica) del agua superficial y subterránea, para establecer el modelo de funcionamiento y sus interrelaciones, como base para la planificación ambiental. El río Quinto, con nacientes en San Luis, desarrolla en el área de estudio su cuenca media-baja. El acuífero libre estudiado presentó gradientes hidráulicos variables y baja velocidad del agua (0,2 m/d). El río presenta variaciones de caudal entre invierno y verano y velocidad de agua promedio de 0,8 m/s, con tipo geoquímico sulfatado sódico, reconociéndose incrementos de salinidad en sentido del escurrimiento. La composición del agua de perforaciones indica que el acuífero libre posee patrón geoquímico complejo, reconociéndose aguas bicarbonatadas a sulfatadas-cloruradas sódicas. Considerando que el río circula por áreas con diferente tipo geoquímico y salinidad del acuífero y, demostrada la conexión hidráulica entre ambos sistemas hidrológicos (acuífero dominantemente influente), se interpreta una preponderancia del agua superficial en verano, que diluye por dispersión hidrodinámica los solutos ingresados desde el acuífero, dadas las diferencias de velocidad del agua entre ambos sistemas. El comportamiento isotópico muestra que río y acuífero se alinean en una recta de evaporación con aquellas de cuenca alta, marcando procedencia. Además, la pendiente de la recta indica procesos de mezcla río-acuífero, corroborándose al ingreso a Córdoba en verano un dominio del agua superficial (72 %), incluyendo aporte desde embalses, mientras que en invierno, predomina (82 %) el caudal de base (aporte subterráneo), a pesar de estar regulado. La cuenca muestra un típico caso de condicionamientos naturales y antrópicos, cuyo funcionamiento no reconoce fronteras políticas, indicando la utilidad de estudios interjurisdiccionales.

INTRODUCCIÓN

El área de estudio, comprende el sector ubicado al Norte y Sur del río Quinto (2.300 km^2), en el ámbito de la planicie arenosa del Sur de Córdoba "ver Fig. 1". Desde fines del siglo XIX esta región se caracteriza por el desarrollo de actividades agropecuarias, pero desde 1950 la presión de uso del territorio fue creciendo notoriamente con el aumento de la mecanización y el empleo de



Figura 1. Localización área de estudio.

agroquímicos. En las últimas décadas, se registran procesos de concentración de tierras, aumento del tamaño de las parcelas de cultivos, desplazamiento de cereales por oleaginosas (soja y maní) y despoblamiento rural (Blarasin et al, 2005). Simultáneamente con el propósito de sostener y expandir las áreas agrícolas, desde la década del ’50 se vienen llevando a cabo intervenciones directas en la red de drenaje y en humedales que incluyen canalizaciones y trasvases entre subcuencas. Además se hace un uso permanente de diferentes acuíferos, en particular el freático o libre, para usos diversos, especialmente agropecuarios, con importantes consecuencias ambientales (potenciación de la recarga por riego y aumento de contaminación, sobreexplotación y derroche de algunas capas acuíferas confinadas, etc.).
Específicamente en la planicie arenosa del Sur de Córdoba, los problemas ambientales relacionados a los sistemas hidrológicos subterráneos y los derivados de sistemas superficiales son altamente significativos y reconocidos por la población debido a su magnitud y frecuencia. Entre los primeros se destacan la disminución de reservas en forma muy localizada cuando desciende el nivel freático o problemas de anegamiento durante sus ascensos, calidad natural poco adecuada y contaminación, mientras que entre los segundos se resaltan la erosión lateral y profundización de los cursos de agua con afectación a la infraestructura y la contaminación. Como consecuencia de esto la calidad de vida se ve afectada en distintos aspectos como salud, vivienda, trabajo, entre otros. Uno de los aspectos fundamentales a investigar es la posibilidad de contar con aguas de mejor calidad que las subterráneas, que poseen altos valores de salinidad y de arsénico y flúor, para lo cual es necesario pensar en uso conjunto con aguas superficiales más dulces que atraviesan la zona y que proceden de cuencas altas, evaluando sus relaciones hidráulicas y de mezclas químicas con aguas locales. En este marco, se plantea como objetivo realizar la caracterización dinámica y geoquímica general e isotópica del agua superficial y subterránea, para establecer el modelo de funcionamiento y sus interrelaciones, como base para la planificación ambiental. Se realiza además modelación numérica para validar el modelo hidrogeológico conceptual.

METODOLOGÍA

Se realizó un estudio a escala regional, sobre la base de hojas topográficas (IGN), escala 1:100.000, de fotografías aéreas y de imágenes satelitales. Se trataron e interpretaron datos climáticos (serie 1911 - 2013). Se efectuó el estudio geológico-geomorfológico, a través de la descripción del relieve y perfiles litológicos aflorantes y procedentes de perforaciones, efectuándose en ambos casos la recolección de muestras de sedimentos para posterior análisis texturales (tamices ASTM, escala Udden - Wendworth), obteniéndose los histogramas con los porcentajes de las distintas fracciones granulométricas. Para complementar la tarea de reconstrucción del subsuelo se realizó prospección geoeléctrica mediante sondeos eléctricos verticales (SEV) según disposición Schlumberger. Las curvas de resistividad aparente resultantes fueron procesadas con aplicaciones informáticas específicas, comparándose los resultados con datos de perforaciones. Para el estudio hidrogeológico se realizó el muestreo de agua subterránea en 30 perforaciones que captan de los primeros 20 m del acuífero libre. Para el estudio hidrológico superficial se tuvo en cuenta la divisoria de agua superficial del río Quinto, la que delimita una faja angosta que acompaña al curso colector, en el que se aforaron y muestrearon 3 secciones (entrada a Córdoba, centro y salida), en dos épocas del año (verano/invierno). Se midieron in situ conductividad eléctrica (CE), pH y

temperatura. Los análisis físico-químicos de las muestras, siguiendo Standard Methods (1998), fueron realizados en el Laboratorio de Geoquímica del Departamento de Geología - UNRC. Se corroboraron los datos obtenidos en el campo respecto a CE y pH (con electrodo Orion), y se midieron: carbonatos (CO_3^{-2}) y bicarbonatos (HCO_3^-), mediante titulación potenciométrica con electrodo selectivo Orion - Thermo; sulfatos (SO_4^{-2}) por turbidimetría (con centrífuga Macrotronic); cloruros (Cl^-) mediante titulación colorimétrica con nitrato de plata, calcio (Ca_2^+) y magnesio (Mg_2^+) por titulación colorimétrica con EDTA; sodio (Na^+) y potasio (K^+) por fotometría de llama (fotómetro digital Metrolab 315), mientras que fluoruro (F^-), nitrato (NO_3^-) y nitrito (NO_2^-) con electrodos de ion selectivo (Orion - Thermo). Arsénico (As) fue determinado con test semicuantitativo Merck y corroborado con ICPMS (Plasma inducido acoplado a espectrometría de masas) en el laboratorio ISIDSA de la Universidad Nacional de Córdoba. En laboratorios del INGEIS (Instituto de Geocronología y Geología Isotópica) se solicitó la determinación de isótopos estables $^2H/^1H$, $^{18}O/^{16}O$ para las muestras de ambos sistemas hidrológicos. La información resultante fue procesada, obteniéndose los mapas de potenciales hidráulicos, de profundidad del nivel freático e hidroquímicos que junto a la restante información permitieron elaborar el modelo hidrogeológico conceptual, validado luego con modelación numérica de tipo inversa mediante el programa Phreeqc 2.17.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Caracterización climática

El clima en la zona es de tipo mesotermal subhúmedo-seco, con una precipitación media anual de 739 mm, concentrada principalmente en primavera – verano. La serie de precipitaciones anuales (P) analizada fue "La Perdiz" (1911-2013) con un mínimo de 119 mm y un máximo de 1.331 mm. El balance hídrico edáfico seriado, de paso mensual, muestra que entre 58,5 y 100% de P es devuelto a la atmósfera como evapotranspiración real (Bécher Quinodóz, 2014). Los déficit se producen fundamentalmente en los meses de otoño – invierno y los excesos, variables entre 0 y 204 mm, en primavera – verano, muy condicionados por el comportamiento de las precipitaciones. La tendencia de los excesos hídricos es creciente, fundamentalmente a partir de 1972, destacándose el período 1998-2004, por presentar los excesos más importantes de la serie (1.673 mm de excesos y 277 mm de déficit). A partir de 2004 y hasta la fecha, los déficit hídricos se han incrementado (1.130 mm de déficit y 501 mm de excesos), "ver Fig. 2".

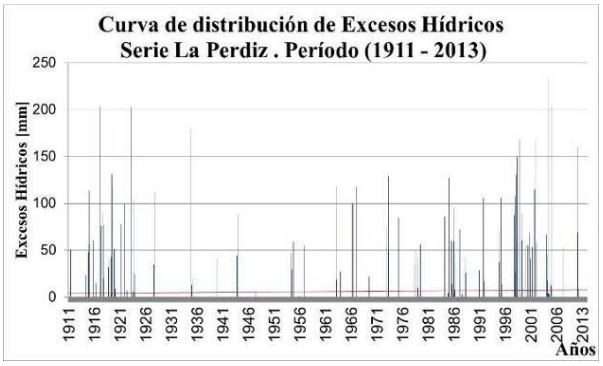


Figura 2. Curva de distribución de excesos hídricos

Caracterización geológica – geomorfológica

La zona de estudio se caracteriza por presentar un relieve plano a suavemente ondulado, en el que se reconocen, especialmente en el ángulo NO, viejas dunas longitudinales de orientación NO-SE, que fueron retrabajadas durante el clima actual por vientos del NE, generándose un paisaje de dunas parabólicas (orientación NE-SO), cuya removilización, producida por vientos secundarios, ha formado cadenas barjanoides en el cuerpo de las dunas. En la cubeta principal de las dunas parabólicas se instalan lagunas temporarias

y/o permanentes de variado tamaño. Se observan además paleocanales y antiguos derrames del río Quinto, los que interdigitan y se yuxtaponen con los sistemas medanosos, por lo que el sector bajo estudio constituye un verdadero palimpsest (Bécher Quinodóz, 2014).

En el área de estudio se identificaron tres grandes unidades geomorfológicas: I: Llanura Eólica, II- Llanura Fluvio-Eólica y III- Llanura Fluvial "ver Fig. 3". En todas las unidades dominan sedimentos psamo - pelíticos con variable grado de cementación carbonática, reconociéndose en el ambiente fluvial, arenas muy gruesas y localmente gravas "ver Fig. 4a", en el ambiente fluvio-eólico aparecen subordinadamente arenas gruesas a muy gruesas "ver Fig. 4b", mientras que en el ambiente eólico se destaca la fracción arenas muy finas - limosas, "ver Fig. 4c". Los estudios mineralógicos realizados permitieron identificar la dominancia de vidrio volcánico y minerales como cuarzo, plagioclasa, feldespato potásico, biotita, anfíboles y piroxenos. En la fracción arcilla (<2μ) se reconocieron, entre otros, illita e illita-esmectita (Bécher Quinodóz, 2013).

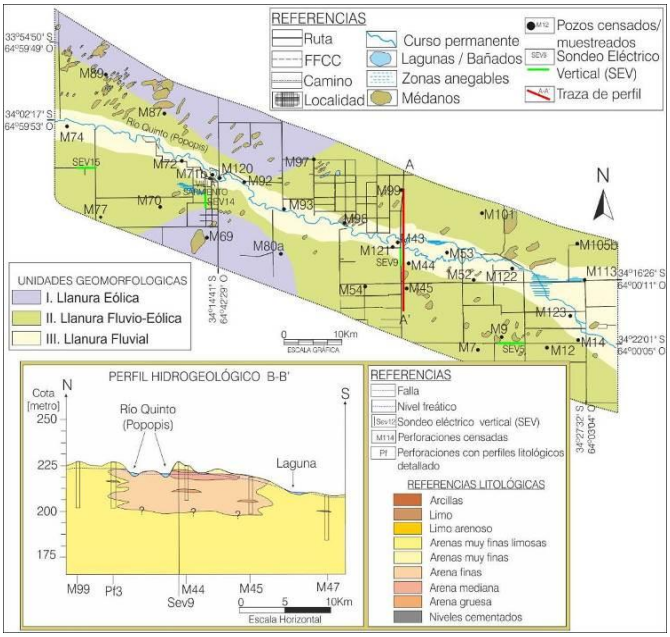


Figura 3. Mapa geomorfológico Cuenca media baja río Quinto. Ubicación de perfiles relevados, A-A' y B-B'.

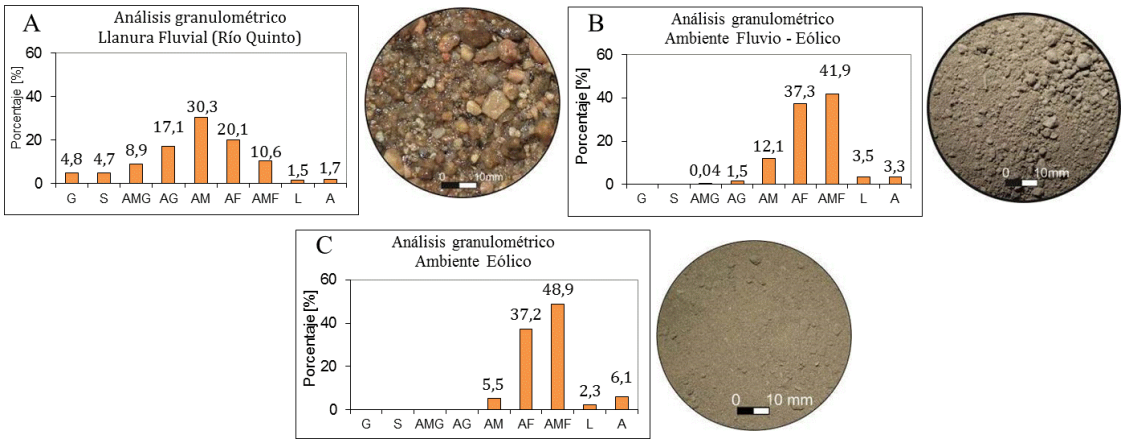


Figura 4. Análisis granulométrico en las correspondientes unidades geomorfológicas. A - Llanura Fluvial - Derrames río Quinto. B- Llanura Fluvio-Eólica - Sector Villa Sarmiento. C- . Llanura Eólica - Sector medanoso Laguna Oscura

Caracterización hidrogeológica

El estudio de la geología superficial, de los perfiles expuestos, el inventario de perforaciones de profundidades variables y los resultados e interpretaciones de los sondeos eléctricos verticales (SEVs), permitieron generar un modelo hidrogeológico preliminar del subsuelo. En el perfil hidrogeológico A-A' "ver Fig. 3", se muestran las principales características del subsuelo, pudiendo identificarse un amplio dominio de

sedimentos finos (arenas muy finas limosas "ver Fig. 4c"). El acuífero estudiado es el libre, el cual exhibe moderada homogeneidad dado el dominio de sedimentos finos ya mencionado aunque se reconocen cambios faciales que a una escala local implican anisotropías desde el punto de vista hidráulico. Estos cambios están vinculados a materiales más cementados o bien a los sectores medanosos que tienen proporciones de 10 hasta 37,2% de arenas finas, o más gruesos asociados al ámbito de la faja fluvial del río Quinto y áreas de derrame "ver Fig. 4a". Los últimos son los ambientes de mayor conductividad hidráulica (permeabilidad) del acuífero.

Caracterización hidrodinámica del agua superficial (río Quinto) y subterránea (acuífero libre)

El río Quinto, con nacientes en las Sierras de San Luis, desarrolla dentro de la zona de estudio su cuenca media y media-baja, a lo largo de una longitud de 120 km, con una dirección general de escurrimiento NO-SE, "ver Fig. 5" que comprende los Bañados de La Amarga (vieja zona de derrames y antiguo nivel de base del curso de agua). El régimen hidrológico del río responde parcialmente al aporte de precipitaciones, ya que además se encuentra vinculado a la contribución de agua subterránea y es regulado por diferentes embalses en cuenca alta en San Luis, además de una presa en el Este de Córdoba ("Los Chañares"). Los datos obtenidos "ver Tabla I", indican un caudal promedio para el verano de 25 m^3/seg con una velocidad promedio de 0,92 m/seg, mientras que para el invierno, el caudal y velocidad promedio resultaron ser de 4,22 m^3/seg y 0,68 m/seg respectivamente. De los resultados obtenidos "ver Tabla I", se observan en verano variaciones de caudal de una estación de aforo a la otra, con descenso e incrementos del mismo en el sentido de escurrimiento del flujo, mientras que para el invierno (estiaje) el caudal incrementa en sentido del flujo. Los incrementos de caudal (0,8 m^3/seg) observados en invierno, época en que no llueve, entre las estaciones $A_{11} - A_{15}$, permiten interpretar que existen aportes del acuífero libre (acuífero influente), mientras que los descensos registrados en verano entre las estaciones $A_{11} - A_{13}$, pueden atribuirse a relaciones de influencia por parte del río hacia el acuífero, aspectos que se discutirán más adelante.

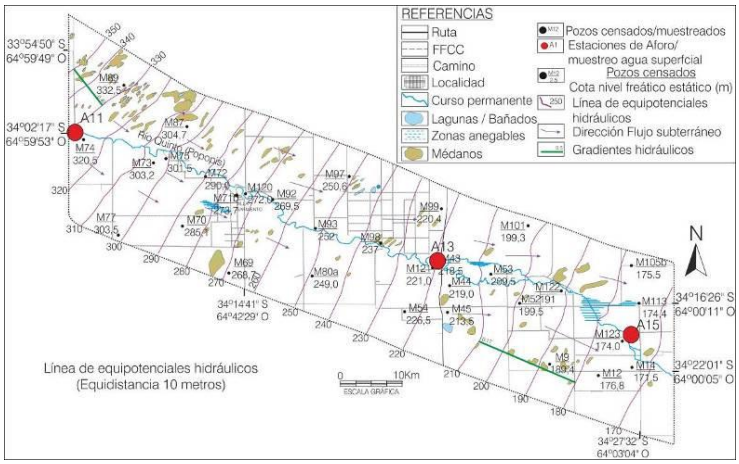


Figura 5 Mapa de equipotenciales del acuífero libre y puntos de aforo del río Quinto.

Tabla I. Caudales líquidos (Q) y sólidos (Qs) medidos. Río Quinto (Verano 2013)

Estaciones de aforo	Área m^2	Velocidad m/seg	Q (Caudal) m^3/seg	Carga Sólida gr/L	Qs (Caudal Sólido) g/seg
A_{11}	30,9	0,923	28,6	0,17	4,83
A_{13}	35,2	0,628	22,1	0,15	3,30
A_{15}	20,0	1,215	24,3	0,48	11,78
Caudales líquidos (Q) y sólidos (Qs) medidos. Río Quinto (Invierno 2013)					
A_{11}	7,50	0,50	3,8	0,11	0,41
A_{13}	6,30	0,68	4,3	0,12	0,51
A_{15}	5,20	0,88	4,6	0,15	0,69

El acuífero libre presenta una dirección de escurrimiento NO-SE, con morfología freática casi planar “ver Fig. 5”. El diseño de las líneas de flujo indica que el sector se comporta como un área de tránsito del agua subterránea procedente del sector occidental. Los gradientes hidráulicos del orden de 0,1 % a 0,4 % se asocian a áreas más planas y sectores medanosos, respectivamente. Las velocidades de escurrimiento del agua subterránea, teniendo en cuenta la porosidad efectiva de los sedimentos, son de 0,04 - 0,07 m/d (en ambiente planos) a 0,25 - 0,5 m/d (en los campos de dunas del sector NO). Considerando la morfología en planta de la superficie freática “ver Fig. 5”, podría interpretarse una relación de indiferencia entre ambos sistemas, dado el paralelismo entre el curso de agua y las líneas de flujo del agua subterránea para la escala de trabajo empleada. Sin embargo, considerando los detalles a campo y los perfiles transversales realizados “ver Fig. 6”, se puede establecer que las relaciones acuífero libre-río Quinto son de influencia, efluencia e indiferencia según los tramos analizados y que las mismas presentan variaciones espacio - temporales. En general domina el aporte del acuífero hacia el río.

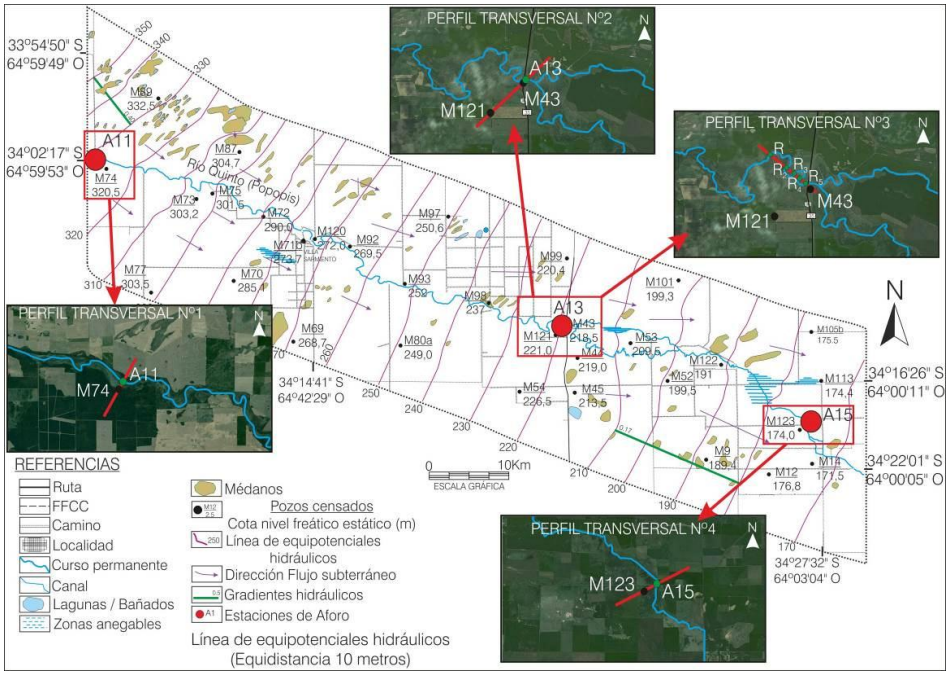


Figura 6. Ubicación de Perfiles Transversales. Río Quinto – acuífero libre.

En tramos en los que el río aporta al acuífero se corroboró disminución del caudal (perfil transversal Nº 2 y 3). Los variaciones espaciales, responden a las características geomorfológicas, destacándose que en los sectores de mayor sinuosidad (meandros) las relaciones observables son más complejas variando entre influencia - efluencia y/o indiferencia por parte del acuífero (perfiles transversales Nº 2 y 3), mientras que en los tramos rectilíneos, donde el río ha profundizado y su orientación es paralela a la dirección general de escurrimiento (NO - SE), ambos sistemas entran en contacto, estableciéndose una relación de influencia por parte del acuífero, (perfil transversal Nº 1). En la Fig. 7 se presenta a modo de ejemplo el perfil transversal Nº 3. Por otra parte, las variaciones temporales que experimentan las relaciones agua superficial – subterránea en el sector analizado se encuentran sujetas a las variaciones individuales de cada uno de los sistemas intervinientes (topografía, litologías, diseño de canal y caudal del río y litologías - niveles piezométricos del acuífero).

En el caso del río Quinto, el caudal de ingreso a la zona de estudio, se encuentra controlado por embalses/presas ubicados aguas arriba (cuenca alta y media), además de precipitaciones acontecidas en la zona, mientras que las fluctuaciones de nivel freático, se hallan influenciadas principalmente por el régimen de precipitaciones, por ser la principal entrada de agua al sistema acuífero libre. Los excesos hídricos en la zona, han disminuido y por lo tanto hay un incremento notorio en los déficit hídricos hacia finales de 2004 y hasta la fecha, lo que se ha traducido en descenso de nivel freático que puede afectar la relación acuífero - río, especialmente en algunos tramos en los que debido a la topografía local, el descenso de nivel desconecta los cuerpos de agua (Bécher Quinodóz, 2014).

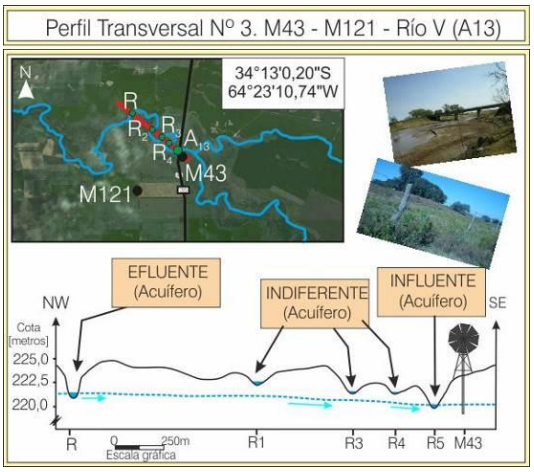


Figura 7. Perfiles transversales Nº 3
Relación río Quinto – acuífero libre

Caracterización hidrogeoquímica

En lo que respecta a los aspectos geoquímicos, el agua del río Quinto, para las dos épocas de muestreo (verano/invierno), presentó el mismo tipo geoquímico, sulfatadas sódicas, con un leve incremento de la conductividad eléctrica, y consecuentemente de salinidad, en el sentido general de escurrimiento, para el verano (2.400 a 2.800 µS/cm) y más marcado en el invierno (3.280 a 4.500 µS/cm), los tenores de arsénico y flúor, componente naturales del agua de la región dada la mineralogías de los sedimentos (Blarasin et al, 2005), resultaron bajos y los tenores de nitratos (indicadores de contaminación) fueron muy bajos. Estos aspectos en conjunto con la salinidad resultaron en aguas aptas para ganadería aunque en deficiencias para otros usos.

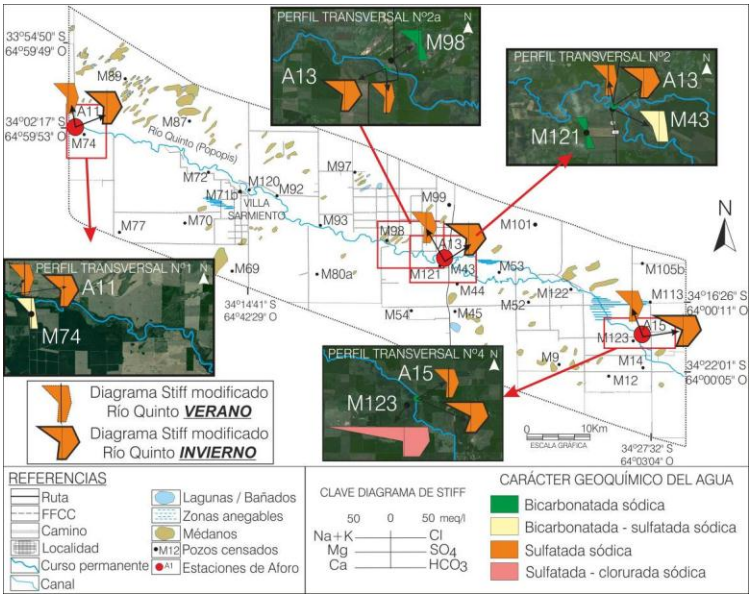


Figura 8. Perfiles transversales. Relaciones hidrogeoquímicas
río Quinto – acuífero libre. 2013

El acuífero libre presenta un patrón geoquímico más complejo, con valores de conductividad eléctrica entre 790 a 9.370 µS/cm, reconociéndose aguas del tipo bicarbonatadas sódicas hasta cloruradas sódicas, en escasas distancias. Estos cambios están influenciados por la presencia de médanos que permiten la recarga de agua dulce, cambios faciales litológicos en el acuífero (por ejemplo mayor cementación), tiempo de

circulación desde el área de recarga regional, etc. Las aguas subterráneas resultaron en general de poca aptitud para diversos usos, aunque las vinculadas a sectores medanosos mostraron en general buena calidad, destacándose los elevados tenores de nitratos en numerosos sectores del acuífero, dada su baja capacidad de dispersión hidrodinámica en relación al río.

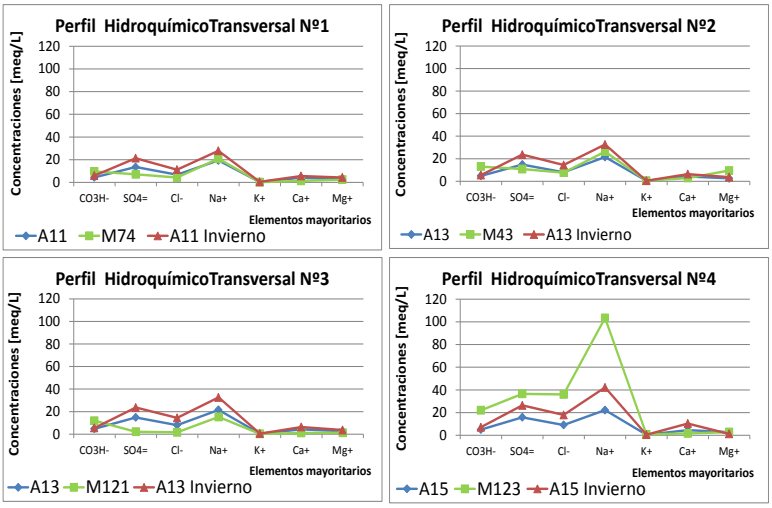


Figura 9. Perfiles Hidroquímicos Transversales. Relación Hidrogeoquímica río Quinto – Acuífero libre.

El análisis de las relaciones agua superficial – subterránea a través del trayecto del río Quinto en el área de estudio, se realizó a través del trazado de perfiles longitudinales y transversales "ver Fig. 8", habiéndose tenido en cuenta los aspectos hidrodinámicos discutidos anteriormente. A partir del análisis y observando la similitud de la marcha iónica entre agua superficial y subterránea "ver Fig. 9" se interpreta que existen relaciones hidrogeoquímicas entre ambos cuerpos de agua, aunque al observar la poca variación geoquímica del agua del río a lo largo de su recorrido se estima que el aporte de agua subterránea, que es más salada, y en ocasiones de diferente tipo geoquímico, es pequeño.

Caracterización hidrogeoquímica isotópica

Para efectuar el análisis integral del sistema hidrológico superficial y establecer las posibles relaciones con el sistema hidrológico subterráneo, el análisis isotópico se efectuó a nivel de cuenca, ampliando la investigación al área de aporte (cuenca alta y media del río Quinto – San Luis). A través del diagrama convencional $\delta^{18}O$ vs. $\delta^{2}H$, "ver Fig. 10", se interpreta que el acuífero libre en cuenca alta, presenta mayor empobrecimiento isotópico, atribuible a recarga de agua procedente de lluvias más livianas isotópicamente, precipitadas en sectores serranos a partir de vapor de agua más empobrecido en los isótopos más pesados, debido al efecto de continentalidad (Dansgaard, 1964; Panarello et al, 1984). Por su parte, los embalses

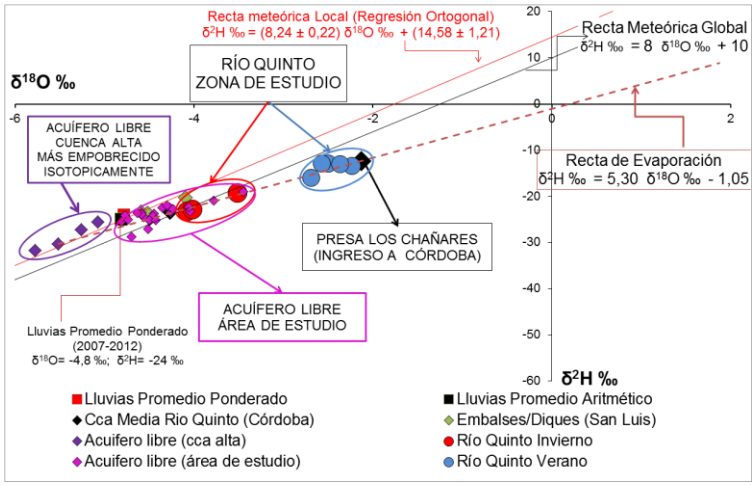


Figura 10. $\delta^{18}O$ vs $\delta^{2}H$ para las muestras de agua del sistema río Quinto y el acuífero libre en cuenca alta y la zona de trabajo.

ubicados en cuenca alta ($\delta^{18}O$ promedio = -4,4‰ y de $\delta^{2}H$ promedio = -22,4‰), se encuentran más enriquecidos que el acuífero libre en cuenca alta debido al fraccionamiento que ocurre en ellos por efecto de evaporación. En la zona de trabajo, el acuífero libre presenta valores isotópicos promedio ($\delta^{18}O$ = -4,4‰ y de $\delta^{2}H$ -23,8‰) similares al promedio ponderado de las lluvias locales. El río Quinto en el área de estudio y luego de haber egresado de la presa Los Chañares, cuya composición es $\delta^{18}O$ = -2,1‰ y de $\delta^{2}H$ = -12,3‰, muestra valores promedio en invierno de $\delta^{18}O$ = -3,9‰ y de $\delta^{2}H$ = -21,7‰ y en verano de $\delta^{18}O$ = -2,5‰ y de $\delta^{2}H$ = -13,7‰.

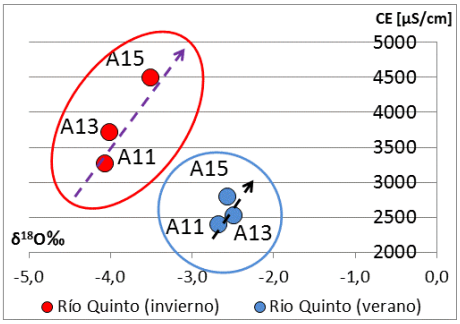


Figura 11. Grafico CE vs. $\delta^{18}O$. Tramos del río Quinto en el área de estudio

Los valores isotópicos muestran que las aguas correspondientes al río Quinto presentan mayor enriquecimiento isotópico en ambos períodos de muestreo que el acuífero freático, lo que indica evaporación en el curso de agua. Sin embargo, los valores obtenidos para el río en las dos épocas de muestreo "ver Fig. 11" son bajos, especialmente en invierno, comportamiento que corrobora la componente de agua subterránea que participa en el proceso de mezcla para esta época, en la que la composición isotópica es muy cercana a la del acuífero libre de la zona de estudio "ver Fig. 10". En verano, la marca isotópica que presenta el río Quinto se debe no sólo a un proceso de evaporación en el curso de agua, sino a un proceso de mezcla, en el que intervienen como componente principal el agua superficial que llega de la presa Los Chañares y en menor medida el aporte del acuífero libre. Estas diferencias estacionales quedan claras en la gráfica de la Fig. 10 en la que las muestras de invierno y de verano del río Quinto y las del acuífero libre en la zona de estudio, están alineadas según una recta de evaporación explicada por la ecuación $\delta^{2}H$ = 5,30 * $\delta^{18}O$ -1,05‰ "ver Fig. 10". A su vez, en función del modelo hidrodinámico e hidroquímico planteado, esta recta puede ser considerada una recta de mezcla, pudiendo aplicarse entonces ecuaciones clásicas de mezcla ("regla de la palanca") para calcular el porcentaje en que participan distintas fuentes de agua en la composición final del rio Quinto en cada estación de aforo "ver Fig. 12", para ambas épocas del año. En esta oportunidad, y por razones de espacio, sólo se presentan los resultados obtenidos al ingreso de la zona de estudio (A_{11}) para ambas épocas de muestreo. En la Fig. 12, se presentan los contenidos isotópicos de las muestras de agua del río Quinto en los sitios A_{11} (ingreso al área) para el período de inverno (A_{11I}) y verano (A_{11V}), además de los valores de la presa Los Chañares (ARV_8) y una muestra de agua subterránea (M_{122}), cuya marca isotópica es representativa del valor de la mayoría de las muestras del acuífero libre. Realizado los cálculos correspondientes se encontró que, en la época de verano, las muestras del río Quinto al ingreso del área **(A_{11V})** poseen un **72%** de agua procedente de la presa Los Chañares (ARV_8) y **28%** de agua subterránea, mientras que en invierno el porcentaje resulto en un **82%** de agua subterránea y un **18%** de agua procedente de la presa Los Chañares (ARV_8).

Los resultados obtenidos permiten establecer que en el sector existe una interacción agua subterránea-superficial que, en general, muestra influencia del acuífero hacia el río. Los datos indican fundamentalmente la dilución del agua durante la época de precipitaciones y la consecuente contribución de éstas fundamentalmente vía los escurrimientos superficiales al caudal del río, mientras que en invierno domina el caudal de base aportado por el acuífero y por lo tanto su impronta geoquímica. El río mantiene

su calidad de agua prácticamente inalterada desde que ingresa a la zona de trabajo hasta que sale, presentando el mismo patrón geoquímico sulfatado sódico y aumentando levemente el contenido iónico, en ambas etapas de muestreo. La vinculación isotópica entre el río y muestras cercanas del acuífero, indican también aporte subterráneo al sistema. Esta peculiar situación geoquímica, es decir una masa de agua superficial que se mantiene con el mismo tipo geoquímico y un leve aumento iónico a lo largo de 120 km, a pesar de que posee relación hidráulica con el acuífero (aspecto que se corrobora con los isótopos) puede explicarse si se considera que el río, como entidad hidrogeoquímica, es el resultado de una mezcla de aguas debida a la convergencia de: 1- agua dulce superficial procedente de cuenca alta-media 2- el agua retenida en la presa Los Chañares. 3- agua de flujos subterráneos del acuífero libre, que viene circulando desde el sector pedemontano.

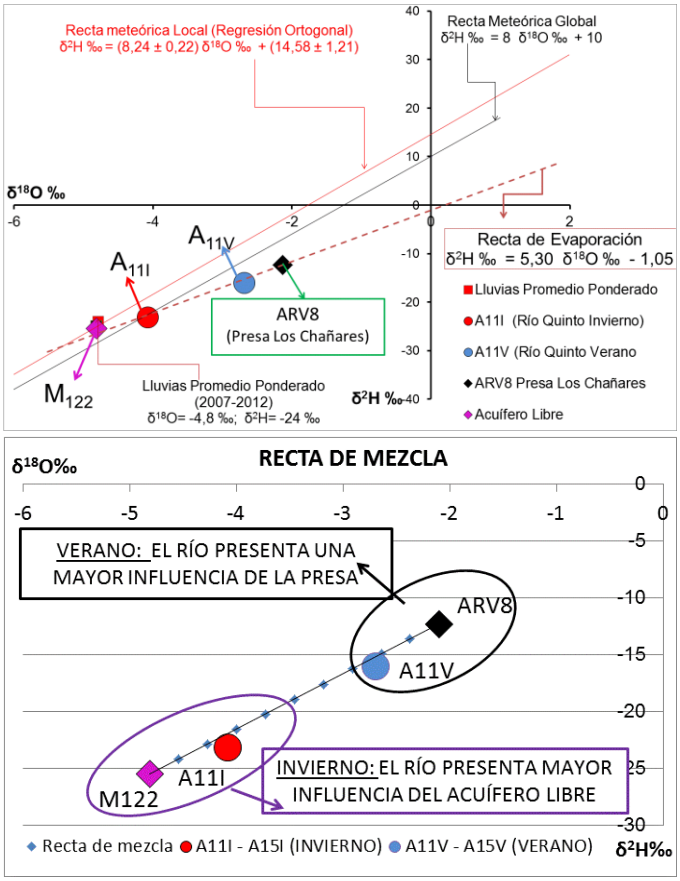


Figura 12. ARRIBA $\delta^{18}O$ vs $\delta^{2}H$ para las muestras de agua del río Quinto, al ingreso (A_{11}) de la zona de estudio en ambas épocas de muestreo y su relación con la muestra de la presa Los Chañares (ARV_8) y del agua subterránea (M...) del acuífero libre. ABAJO. Recta de mezcla

Un aspecto a destacar es que las velocidades de las 2 masas de agua (río y acuífero), son completamente diferentes, 0,92 m/s la del río (verano), es decir 80 km/d y 0,2 m/d la del agua subterránea. Esto permite deducir que aunque haya aporte del acuífero al río, éste recorrerá la zona estudiada en menos de 2 días, con lo cual la influencia de la composición química del acuífero en la del río se disipa dada su alta capacidad de dilución de solutos por dispersión hidrodinámica. Para validar este modelo conceptual se realizó modelación numérica inversa, la cual se describe e interpreta a continuación.

Modelación numérica

La modelación numérica de tipo inversa se efectuó mediante el programa computacional PHREEQC 2.17 (Parkhurst y Apello, 1999), considerándose los componentes mayoritarios (HCO_3^-, SO_4^{2-}, Cl^-, Na^+, K^+, Ca^{2+}, Mg^{2+}) del agua. Las fases presentes (mineralogía), son las descriptas precedentemente. En función del modelo conceptual planteado anteriormente, la muestra **A_{11}**, es el resultado de una mezcla entre **ARV_7** (agua superficial que viene circulando desde cuenca alta, **ARV_8** (agua superficial de la presa los Chañares) y **M_{15JD}** (agua subterránea que viene circulando desde el sector pedemontano). Los datos físico-químicos de las muestras de agua empleada en la modelación, se presentan en la Tabla II.

Tabla II. Análisis físico - químico de las muestras empleadas en la modelación numérica

Nº Muestra	pH	CE µS/cm	SDT mg/L	CO_3^{-2} mg/L	CO_3H^- mg/L	SO_4^{-2} mg/L	Cl^- mg/L	Na^+ mg/L	K^+ mg/L	Ca^{+2} mg/L	Mg^{+2} mg/L
ARV_{7V} (SI)	7,9	2.240	1.568	0	293	713	251	404	15	107	25
ARV_8 (SI)	8,2	3.100	2.170	0	325	832	337	556	18	92	57
M_{15JD} (SI)	8,2	6.300	4.410	0	440	1698	1057	1607	28	104	83
A_{11V} (SF)	8,7	2.400	1.680	12	278	643	243	450	16	84	32

A través del programa Phreeqc, se han testeado 49 modelos posibles de los cuales 21 satisfacen la mayoría de las restricciones tenidas en cuenta en el modelo conceptual, presentándose el modelo que mejor ajusta (Modelo 7), Tabla III.

Tabla III. Resultado de la modelación numérica realizada con Phreeqc (Modelo 7)

Muestras	Fracciones mezcla	NaX_2 mmol/L	CaX_2 mmol/L	MgX_2 mmol/L	$CaSO_4{:}2H_2O$ mmol/L	ClNa mmol/L
$ARV_{7V\,(SI)}$	0,61	2,07	-1,37	0,33	1,96	1,66
$ARV_{8\,(SI)}$	0,14	0,47	-0,32	0,07	0,45	0,38
$M_{15JD\,(SI)}$	0,25	0,85	-0,56	0,14	0,80	0,68

Los valores obtenidos indican que para alcanzar la composición sulfatada sódica del agua del río Quinto en el sitio A_{11V} (solución final), las soluciones iniciales deben mezclarse en un porcentaje aproximado **14/61/25** ($ARV_{7I}/ARV_8/M_{15JD}$), además de producirse procesos de intercambio catiónico y disolución de sales ($CaSO_4{:}2H_2O$, ClNa). Es decir que, para la época de verano en el sitio A_{11V}, el agua subterránea aportada por el acuífero libre al río, representa el **25 %**, mientras que un **75 %** es agua superficial que procede de la presa ubicadas aguas arriba (**61 %**) y de la que viene circulando desde cuenca alta (**14 %**). Los porcentajes aportados por dichos sistemas, son del mismo orden de magnitud que los obtenidos mediante la modelación isotópica (**72 %** agua superficial y **28 %** agua subterránea).

CONCLUSIONES

La cuenca media – baja del río Quinto en la provincia de Córdoba, caracterizada por un clima mesotermal subhúmedo – seco, mostró importantes incrementos de los déficit hídricos desde finales de 2004, comportamiento reflejado en descensos del nivel freático y reducción de cuerpos lagunares.

Esta planicie arenosa, constituye un palimpsest en el que se asocian el sistema fluvial río Quinto con el sistema eólico "Mar de Arena Pampeano" cuyas diferencias geomorfológicas y litológicas resultaron ser, junto a los aspectos hidroclimáticos mencionados, los principales *condicionantes naturales* del comportamiento hidrológico hallado.

Los aspectos hidrométricos e hidrogeoquímicos muestran que el río Quinto presenta a lo largo del año variaciones de caudal y el mismo carácter geoquímico, con agua dulces en verano a salobre en invierno, con leves incrementos en el contenido salino en la dirección del flujo, particularmente en invierno. Por su parte, la composición química del acuífero libre resultó en un mosaico geoquímico complejo, con aguas dulces - bicarbonatadas, de recarga reciente (flujos locales) en zonas medanosas y aguas salobres y saladas sulfatadas - cloruradas sódicas, más evolucionadas debido al largo tránsito (flujos intermedios - regionales) en el resto de la planicie. Esta particular situación, es decir un curso de agua que se mantiene casi inalterado al atravesar una planicie donde el

agua subterránea presenta en general elevado contenido salino y baja aptitud de uso (arsénico, flúor, nitratos, etc.), se constituye en una oferta ambiental muy importante. A partir de la caracterización hidrodinámica, hidrogeoquímica general e isotópica y de la modelación numérica, quedó demostrado que dicha particularidad es resultado de procesos de mezcla de agua entre dos sistemas hidrológicos cuyas velocidades de circulación son completamente diferentes, es decir agua subterránea de flujo lento y agua superficial de flujo rápido. Las mezclas resultantes obtenidas, dado que se trata de un río regulado (*condicionantes antrópicos*) indican que domina el agua superficial (incluyendo el aporte de las presas) en verano (en el orden de 72 %) mientras que en invierno, a pesar de estar regulado, hay un dominio (en el orden 82 %) de caudal de base (aporte subterráneo). Específicamente la herramienta isotópica fue de gran utilidad, ya que los valores de isótopos de $\delta^{18}O$ y $\delta^{2}H$ de aguas superficiales y subterráneas en la zona de estudio (Córdoba) mostraron procedencia de la recarga e influencia de obras hidráulicas, al quedar alineados en una recta de evaporación y mezcla con los valores del agua de río y acuífero de la cuenca alta y media en San Luis.

A partir de lo expuesto y considerando que si bien este trabajo contribuye en parte al conocimiento sobre el funcionamiento general que el río Quinto presenta dentro de la provincia de Córdoba y su relación con el acuífero libre, surge la necesidad de más estudios locales e interjurisdiccionales, que permitan obtener un mayor conocimiento del sistema en su conjunto para afrontar posibles problemas ambientales (por ejemplo, los vinculados a contaminación ya detectados). En las cuencas interjurisdiccionales, los procesos hidrológicos dinámicos, químicos e isotópicos están concatenados y no reconocen fronteras políticas. Por este motivo, en este tipo de cuencas compartidas, los sistemas hidrológicos superficiales y subterráneos deben ser analizados integralmente evaluando el control que ejercen sobre su funcionamiento los factores naturales (climáticos y geológicos) y antrópicos (modo de ocupación y uso del territorio).

REFERENCIAS

Bécher Quinodóz, 2014. Implicancias ambientales de las relaciones hidrodinámicas e hidroquímicas entre aguas superficiales y subterráneas en la planicie arenosa del Sur de Córdoba. Argentina. Tesis Doctoral. UNRC. 412 p. Inédita

Bécher Quinodóz F. y M. Blarasin. 2014. Relaciones dinámicas y geoquímicas entre agua superficial y subterránea en la planicie arenosa del sur de Córdoba. Argentina. En: Actas del XIX Congreso Geológico Argentino (Eds. R. D. Martino, R. Lira, A. Guereschi, E. Baldo, J. Franzese, D. Krohling, M. Manassero, G. Ortega, L. Pinotti.), p 526-527. Córdoba, Argentina. ISBN 978-987-22403-5-6.

Blarasin, M., Degiovanni S., A. Cabrera y M. Villegas, 2005 Aguas superficiales y subterráneas en el Sur de Córdoba: una perspectiva geoambiental. ISBN 950-665-350- 141-152. Ed. UNRC.

Dansgaard W., 1964. Stable isotopes in precipitation. Tellus, 16: 436-468.

Panarello H. y C. Parica, 1984. Isótopos del oxígeno en hidrogeología e hidrología. Primeros valores en aguas de lluvia de Buenos Aires. Revista de la Asociación Geológica Argentina, XXXIX (1 -2): 3-11.

Parkhurst D. D. y C. A. Appelo. 1999. User's Guide to PHREEQC (version 2). A computer program for ecuación, Batch-Reaction, one-dimensional transport, and inverse geochemical calculations. U.S. department of the Interior. U.S.G.S. Water- Resources Investigations Report 99-259. 326 p.

Este trabajo participa en el "Concurso Jóvenes Investigadores".

SENSITIVITY STUDY AND COMPARATIVE ANALYSIS OF ELASTIC PROPERTIES AND ANISOTROPY COEFFICIENTS IN ORGANIC SHALES

Oksana Bokhonok[a] *and Claudia L. Ravazzoli*[a,b]

[a]*Facultad de Ciencias Astronómicas y Geofísicaas, Universidad Nacional de La Plata, ARGENTINA*
[b]*Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas CONICET , ARGENTINA*

e-mail: bokhonok@yahoo.com, claudia@fcaglp.unlp.edu.ar

ABSTRACT

During last years there has been a growing interest in the exploration and exploitation of unconventional reservoirs, such as rich organic shales, which represent an enormous energy resource. These rocks, which can be regarded as source, reservoir and seal at the same time, are mainly composed by minerals (such as clay and quartz), organic matter (kerogen) and pore fluids, in variable proportions. The production of hydrocarbons in this kind of reservoirs involves special techniques such as hydraulic fracturing, a procedure that generates tensile failure within the rocks. For a proper design of those operations it is essential to know the brittleness of the rock, being generally accepted that it can be estimated by means of its Young modulus, Poisson ratio and related attributes.

With this in mind, in this work we use rock physics tools to model the elastic properties and seismic velocities in a rich organic shale. To do this, the rock is modeled as an effective poroelastic vertical transversely isotropic medium, composed by clay minerals, kerogen and oil. The elastic properties of this composite model are computed using the theory of Ciz and Shapiro (2007) and Backus (1962) averaging. In particular, we analyze the behavior of seismic wave velocity in this medium and the variations in Young, Poisson and combined coefficients. We also calculate the corresponding Thomsen (1986) anisotropy parameters.

We analyze the results obtained with both models for the black shales of the Bakken formation and compare their sensitivity with kerogen saturation in the rock.

INTRODUCTION

Organic-rich shales have long been recognized as source rocks for clastic reservoirs, but more recently they have gained importance as unconventional reservoirs (Vernik and Milovac, 2011, Zargari et al. 2013). The pore space in these rocks can be filled with organic matter or *kerogen*, oil and gas.

It is a well established fact that black organic shales are generally characterized by strong velocity anisotropy, low velocity in the bedding normal direction, and relatively low density and porosity (e.g., Vernik and Nur, 1992; Vernik and Liu, 1997). These rock properties are of interest in seismic attribute studies, but even more so in geomechanical applications related to reservoir characterization and hydraulic fracturing (or *fracking*). This kind of rocks generally show vertical transverse isotropy (VTI), with axis of symmetry perpendicular to the bedding-parallel lamination and clay particle-preferred orientation. (Vernik and Milovac, 2011).

Understanding the relation between the bulk elastic parameters and wave velocities in these media, with parameters such as kerogen content, fluid saturation, porosity, orientation (angle), and others, is a very important task in rock physics. This has motivated the interest of many authors resulting in the publication of different workflows to accomplish this goal, such as those presented by Carcione et al. (2011), Sayers (2013), Khadeeva and Vernik (2014), Yenugu and Han (2013), among others. In this sense, a comparative analysis of models can be useful to help make a proper choice, taking into account their sensitivity and range of validity and, at the same time, to quantify their discrepancies.

With this in mind, and following two workflows discussed by Carcione et al. (2011), in this work we restrict our attention to the anistropic model proposed by Ciz and Shapiro (2007) and the classical Backus (1962) averaging theory, hereafter denoted as CS and BA, respectively. Given the widespread application of Thomsen's (1986) anisotropy parameters in seismic analysis, we also compute and analyze these coefficients for these models and their variations with kerogen content. Moreover, using the two models, we compute Young's modulus, Poisson's ratio and combined attributes in normal and parallel to bedding directions. Those coefficients are of the utmost importance for characterization and hydraulic fracturing of these kind of rocks. For the computations the models were calibrated for the black shales of the Bakken formation (Williston basin, EEUU), using information given by Vernik and Nur (1992) and Carcione et al. (2011).

ELASTIC ROCK PHYSICS MODELS FOR ORGANIC SHALES

As stated previously, an important and increasing number of rock physics models and workflows can be found to explain anisotropic seismic velocities and elastic moduli in organic rich shales. In this work, the rock is modeled as an effective poroelastic vertical transversely isotropic medium (VTI), composed by clay minerals (illite), kerogen and oil in variable fractions, whose properties are computed using BA and CS models.

We recall that a VTI medium has an axis of rotational symmetry (x_3) and five independent elastic stiffness constants, denoted in general as $C_{11}, C_{13}, C_{33}, C_{55}, C_{66}$. using condensed two-index Voigt matrix notation. It is worthwhile to mention that C_{11} and C_{66} are related to the velocities along the stratification while C_{33} and C_{55} in normal direction. The computation of this set of moduli is briefly described below.

Backus Averaging (BA) model

Backus (1962) proposed a moving average approach to obtain the long wavelength *equivalent* properties $\bar{C}_{ij}$ of a finely layered medium composed of intrinsically anisotropic media in the form:

$$\begin{aligned} \bar{C}_{11} &= \langle C_{11} \rangle \\ \bar{C}_{33} &= \langle C_{33}^{-1} \rangle^{-1} \\ \bar{C}_{13} &= \langle C_{33}^{-1} \rangle^{-1} \langle C_{33}^{-1} C_{13} \rangle \\ \bar{C}_{66} &= \langle C_{66} \rangle \end{aligned} \tag{1}$$

$$\bar{C}_{55} = \langle C_{55}^{-1} \rangle^{-1},$$

where the brackets $\langle . \rangle$ indicate the average of the enclosed coefficients, asocciated to a single constituent, weighted by their volumetric proportions (Mavko et al. 2009). We remark that the first coefficient in Eqn. (1) corresponds to the modified version proposed by Vernik and Nur (1992) to better model the patterns of illite along the bedding plane.

Ciz and Shapiro (CS) model

Ciz and Shapiro (2007) obtained the effective undrained compliance tensor (inverse of the stiffness tensor), for a porous medium in which the pore infill and solid grains are anisotropic materials, in the form:

$$\bar{S}_{ijkl} = S^m_{ijkl} - \left(S^m_{ijmn} - S^s_{ijmn}\right)\left[\varphi\left(S^{if} - S^{\varphi}\right) + S^m - S^s\right]^{-1}_{mnqp}\left(S^m_{qpkl} - S^s_{qpkl}\right) \quad (2)$$

This model consists in the anisotropic generalization of Brown and Korringa (1975) and Gassmann's (1951) equations for a poroelastic media with a solid infill. In Eqn. (2) S^m , S^s and S^{if} denote, respectively, the elastic compliance tensors associated to the dry frame, the solid grains and the pore filling elastic material. The compliance tensor S^{φ} defined by Ciz and Shapiro (2007), equals S^s when the frame is formed by homogeneous material.

In this case, the elastic properties of the dry mineral matrix are obtained using the heuristic generalization of Krief el al. (1990) model to anisotropy, proposed by Carcione et al. (2011), given by:

$$\begin{aligned} C^m_{11} &= C^s_{11}(1-\varphi)^{A/(1-\varphi)}, \\ C^m_{13} &= C^s_{13}(1-\varphi)^{B/(1-\varphi)}, \\ C^m_{33} &= C^s_{33}(1-\varphi)^{B/(1-\varphi)}, \\ C^m_{55} &= C^s_{55}(1-\varphi)^{B/(1-\varphi)}, \\ C^m_{66} &= C^s_{66}(1-\varphi)^{A/(1-\varphi)}, \end{aligned} \quad (3)$$

where A and B are empirical constants, φ denotes the porosity and C^s_{ij} are the elastic coefficients of the grain minerals. The assumption of an anisotropic solid skeleton results from the alignment of the illite grains. The mathematical relations between stiffness and compliance coefficients in a VTI medium are given in the work of Carcione et al. (2011). In that work they used this model to explain the experimental velocities obtained by Vernik and Nur (1992) in Bakken and Kimmeridge shales, sshowing that this model provides a better fit than BA model. .

Energy restrictions

The positive-definite property of the elastic strain energy in a VTI medium implies the fulfillment of the following inequalities:

$$C_{11} > |C_{12}| \quad , \quad (C_{11} + C_{12})C_{33} > 2C^2_{13} \quad , \quad C_{55} > 0 \quad (4)$$

which need to be numerically checked for both models for every value of kerogen and fluid content.

Seismic wave velocities

Once the effective stifnesses of the models are obtained, the elastic velocities in normal to bedding direction (incidence angle 0°) and parallel directions (angle 90°), for the compressional wave (qP) can be computed in the form

$$v_{33} = v_p(0) = \sqrt{\frac{\bar{C}_{33}}{\varrho}}, \quad v_{11} = v_p(90) = \sqrt{\frac{\bar{C}_{11}}{\varrho}} \tag{5}$$

and for the shear mode (qSV)

$$v_{55} = v_s(0) = \sqrt{\frac{\bar{C}_{55}}{\varrho}}, \quad v_{66} = v_s(90) = \sqrt{\frac{\bar{C}_{66}}{\varrho}} \tag{6}$$

The coefficient ϱ denotes the effective bulk density of the rock given by $\varrho = (1-\varphi)\varrho_s + \varphi\varrho_{if}$, where ϱ_s is the density of the mineral grains. The coefficient ϱ_{if}, to be defined later, denotes the mass density of the pore infill, which depends on the density of kerogen ϱ_k and oil ϱ_o.

Volume fractions

Let K denote the *kerogen content*, given by the ratio of kerogen volume to bulk volume. Then, for the simple case of illite-kerogen mixture, the proportions in this model are $K = \varphi$ for kerogen and $(1-K)$ for illite. In the more general case in which the pore infill is kerogen and oil, we define the pore volume fraction of the kerogen as φ_k and the pore fraction of oil as φ_o, so that $\varphi_k + \varphi_o = \varphi$ and $\varphi_k = K/\varphi$. Then $\varrho_{if} = \varphi_k\varrho_k + \varphi_o\varrho_o$.

For this case we also define the *oil content* O (oil volume to bulk volume) and the *clay fraction* C (clay volume to bulk volume), so that $K + O + C = 1$.

Another useful parameter, commonly employed to characterize source rocks is the *total organic content*, given by the relation $TOC = aK\varrho_k/\varrho$, where $a \simeq 0.75$ is an empirical constant given by Vernik and Nur (1992).

Thomsen's anistropy parameters

Under the assumption of *weak* anisotropy in VTI media (10-20 %), Thomsen (1982) proposed a set of parameters which are widely accepted for the characterization of seismic anisotropy in exploration geophysics, in the form:

$$\varepsilon = \frac{C_{11} - C_{33}}{2C_{33}}, \quad \gamma = \frac{C_{66} - C_{55}}{2C_{55}}, \quad \delta = \frac{(C_{13} + C_{55})^2 - (C_{33} - C_{55})^2}{2C_{33}(C_{33} - C_{55})} \tag{7}$$

From Eqns. (5)-(6) it is easy to see that the coefficients ε and γ measure the anisotropy in compressional and shear wave velocities, while δ can be related to the anisotropy on near vertical compressional waves (Rüger, 1997).

Young, Poisson and related attributes

As is well known, most of modern seismic studies in shale prospects are made using anisotropic data acquisition and processing tools. However , it is still common that the geomechanical analysis of these rocks (for brittleness, ductility, etc.), is based on isotropic parameters such as Young's modulus and Poisson's ratio (Thomsen 2013). Despite of this theoretical inconsistency, for practical reasons the seismic velocities along different directions are used to estimate *apparent* Young's modulus and Poisson's ratio using the general relations valid for the isotropic case, that is:

$$E = \varrho v_s^2 \frac{3v_p^2 - 4v_s^2}{v_p^2 - v_s^2}, \quad \sigma = \frac{v_p^2 - 2v_s^2}{2v_p^2 - 2v_s^2} \tag{8}$$

Then, using the velocities along the symmetry axis $v_p(0)$ and $v_s(0)$ and those parallel to bedding $v_p(90)$ and $v_s(90)$, as defined in Eqns.(5)-(6), we can estimate the apparent Young's modulus E_0 and E_{90}, and Poisson's ratios σ_0 and σ_{90}.

It is generally accepted in the oil-gas industry that zones with relatively high Young's modulus and low Poisson's ratio will be more brittle and have higher reservoir quality (Holden et al. 2013). This information is essential to find high potential areas for hydraulic fracturing and to decide the location and trajectory of the wells.

Taking into account the importance of the bulk density as lithology indicator, to improve the detection of these zones, recently Sharma and Chopra (2012) proposed a new attribute, given by the product $E\varrho$. They point out that for a brittle rock, both Young's modulus and bulk density are expected to be high, so the $E\varrho$ attribute can serve as a brittleness indicator. In the same way, considering the low values of the Poisson's ratio in brittle rocks, Yenugu and Han (2013) proposed a combined attribute in the form: E/σ.

With these motivations, in next section we use the described rock physics models to compute these different coefficients and attributes to evaluate their behavior and sensitivity to kerogen content.

APPLICATION TO BAKKEN SHALES

In this section we show the implementation of the described models for the computation of anisotropic elastic moduli and velocities for the black shales of the Bakken formation (Williston basin, EEUU), assuming that it is composed by clay minerals (illite), kerogen and oil in variable fractions. To calibrate our models we use the information in Table 1, published by Vernik and Nur (1992) and Carcione et al. (2011):

Phase	v_{11} (km/s)	v_{33} (km/s)	v_{55} (km/s)	v_{66} (km/s)	v_{13} (km/s)	Density (gr/cm3)
Illite	5	4.5	2.9	3.15	1.96	2.6
Kerogen	2.7	2.7	1.5	1.5	1.70	1.4
oil	0.73	0.73	0	0	0.73	0.9

Table 1. Physical properties of the mineral phase, kerogen and fluid (from Carcione et al. 2011)

Following Carcione et al. (2011) the parameters of the Krief model in Eqn. (3) are taken A=1.5 and B=4. It must be pointed out that the range of variation of kerogen in the figures was restricted to the interval of validity of conditions (4), corresponding to TOC values in the range 0 to 51%.

Sensitivity analysis of velocities to kerogen content. Assuming a simple kerogen-illite composition, we analyze the compressional seismic velocities v_p in normal and parallel to bedding directions. In Fig. 1 we compare the results obtained using both BA and CS approaches, to analyze their sensitivity and consistency for variable kerogen content. We validated our codes with the results in Carcione et al. (2011). As expected, for a given kerogen content, the velocities are higher along the bedding direction than normal to it. The "vertical" velocities in Fig. 1b) show relatively small discrepancies between both models, having the same values for kerogen contents greater than about 40%. This is not the case for the "horizontal" velocities, which show significant differences. In both cases CS model shows more rapid variations, indicating more sensitivity to kerogen content.

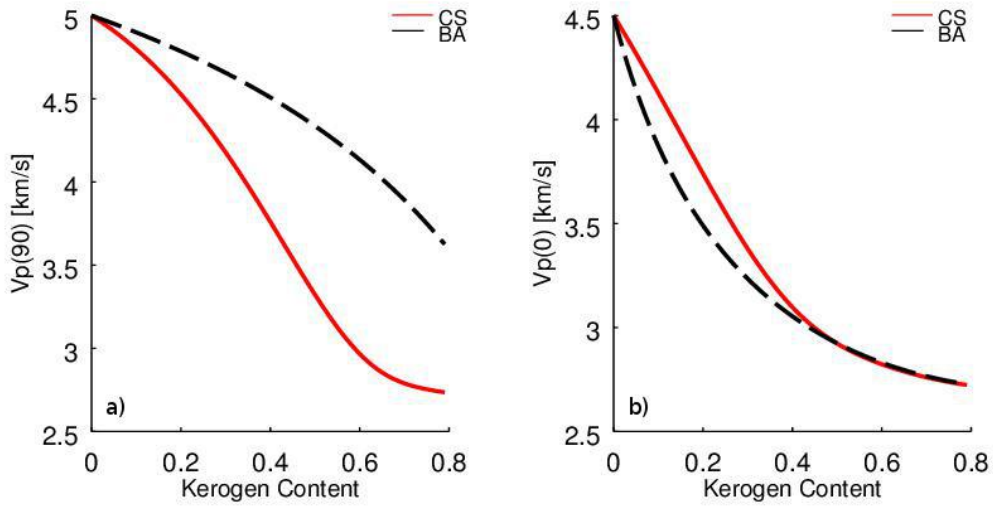


Figure 1. Compressional wave velocities versus kerogen content for Bakken shale, a) $v_p(90)$ and b) $v_p(0)$, according to BA and CS models.

Given that the shear wave velocities v_s show a similar behavior, they are not included for brevity. The anisotropy degree in these models is analyzed next, through Thomsen's coefficients.

Thomsen's parameters. In Fig. 2 a)-b), we analyze the influence of the kerogen content on the behavior of the traditional Thomsen's anisotropy parameters. Our aim is to evaluate the validity of the weak anisotropy postulate in this kind of rocks, which holds when the coefficientes are smaller than about 20% (Thomsen, 1982).

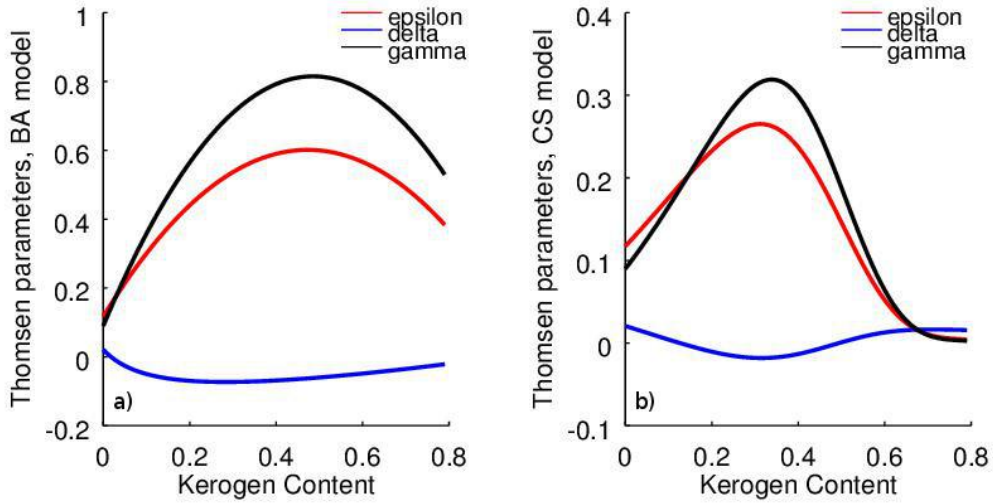


Figure 2. Thomsen's anisotropy parameters ε , δ , γ , versus kerogen content for Bakken shale according to a) BA and b) CS models.

For both model approaches we observe that the velocity anisotropy coefficents ε and γ are highly variable with kerogen content, while the third parameter δ is very low and almost insensitive to it. This indicates that for almost vertical rays (small angles) the variations in kerogen content would not affect significantly the anisotropy of the medium.

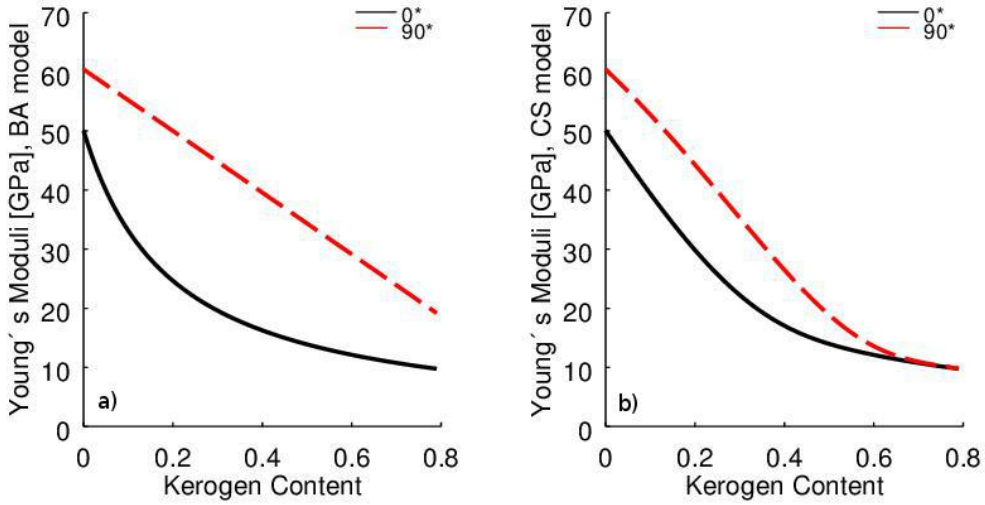


Figure 3. Apparent Young's modulus E_0 and E_{90} versus kerogen content for Bakken shale according to a) BA and b) CS models.

According to the Thomsen's parameters reported by Vernik and Nur (1992) and other authors, we conclude that BA overestimates anisotropy, being more reasonable the estimations obtained from CS model. Taking into account the kerogen fractions reported by Vernik y Nur (1992) for Bakken shales, ranging from 12 to 44.5%, from Fig. 2 we deduce that for K greater than about 15% for CS and about 5% for BA models, the weak anisotropy formulation should be used with precaution.

Young, Poisson and combined coefficients. In Fig.3 a)–b) we plot the apparent Young's moduli E_0 and E_{90}. Our model estimates show clearly the dramatic decay of these coefficients for increasing kerogen content, being more sensitive the estimations given by CS model. This implies a decrease in the brittleness of the rock, which can also be analyzed through the opossite behavior observed in Poisson coefficients σ_0 and σ_{90}, shown in Fig. 4 a)-b).

An integrated analysis of Figs. 3 and 4 shows that, according to both models, the organic shale is more brittle in parallel to bedding direction than in normal direction. This quantitative results may be useful for planning a hydraulic fracturing procedure.

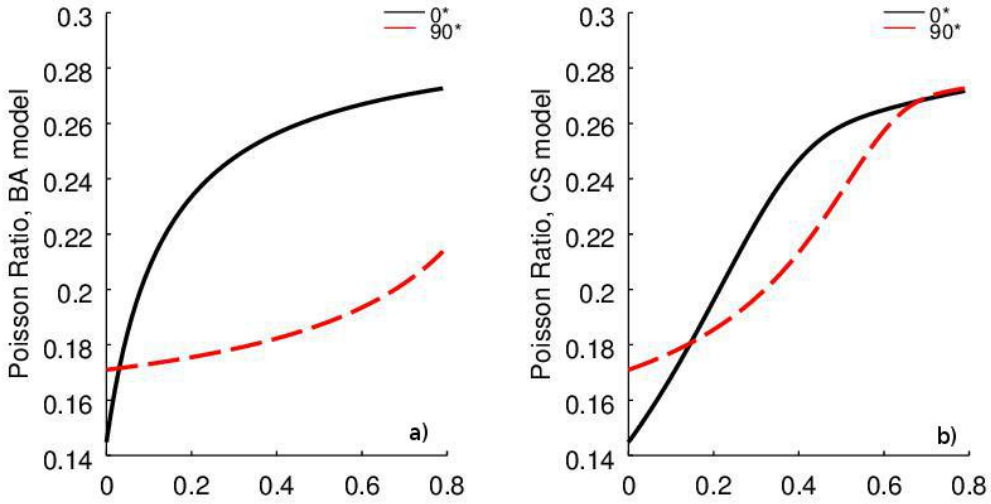


Figure 4. Apparent Poisson's ratios σ_0 and σ_{90} versus kerogen content for Bakken shale according to a) BA and b) CS models.

The combined attributes $E\varrho$ and E/σ are shown in Figs. 5 a)-b) and Fig. 6 a)-b), showing a strong decreasing behavior with increasing kerogen content. Despite of the different numerical scales in the vertical axis we can compare the slopes in these set of figures to verify wheter the combinations improve the sensitivity to kerogen or not.

The integrated analysis allows us to observe that the estimations given by $E\varrho$ and E/σ for BA (Figs. 5 a and 6 a), have the same sensitivity, while for CS model (Figs. 5 b and 6 b) the attribute decreases faster than $E\varrho$ for $K<0.3$ in normal to bedding direction. In both models the attribute $E\varrho$ (Fig. 5a) decreases faster than E (Fig. 3a), just in normal to bedding direction. Also, comparing E and E/σ we observe an increase in sensitivity just for CS model (see Figs. 3b and 6b). Taking into account that CS model fits better the experimental velocities, the predictions resulting from this model are likely to be observed also on real data.

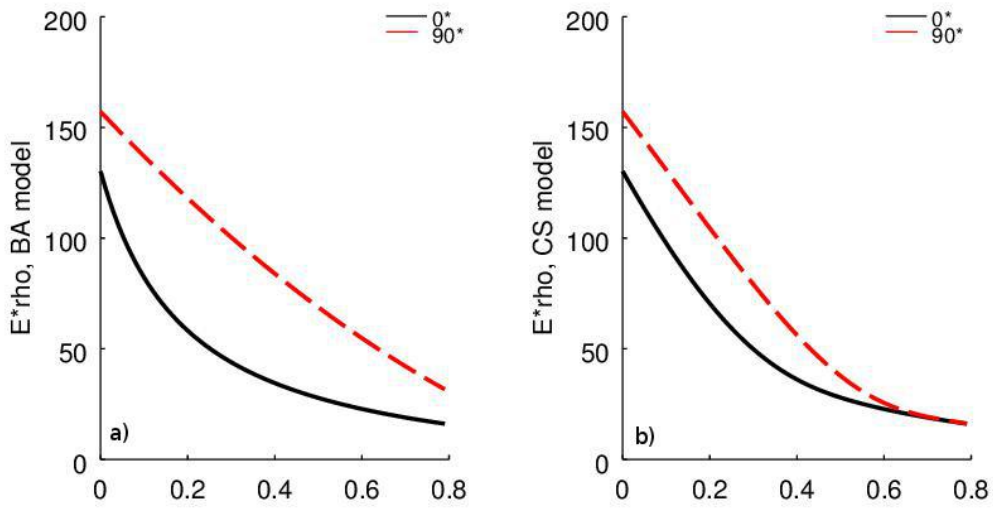


Figure 5. Combined attributes $E\varrho$ versus kerogen content for Bakken shale according to a) BA and b) CS models in normal and parallel to bedding directions.

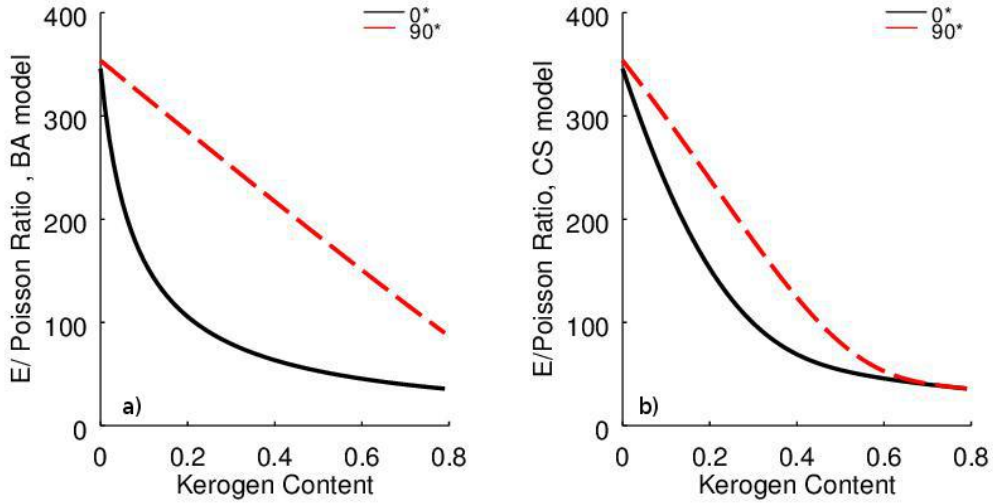


Figure 6. Combined attributes E/σ versus kerogen content for Bakken shale according to a) BA and b) CS models in normal and parallel to bedding directions.

T**he case with kerogen-oil saturation**. In this case we extend the previous analysis to consider that the pore infill is formed by a mixture of kerogen and oil. The effective buk modulus of this solid-fluid pore infill for CS model is computed using BA for alternate layers of oil and kerogen.

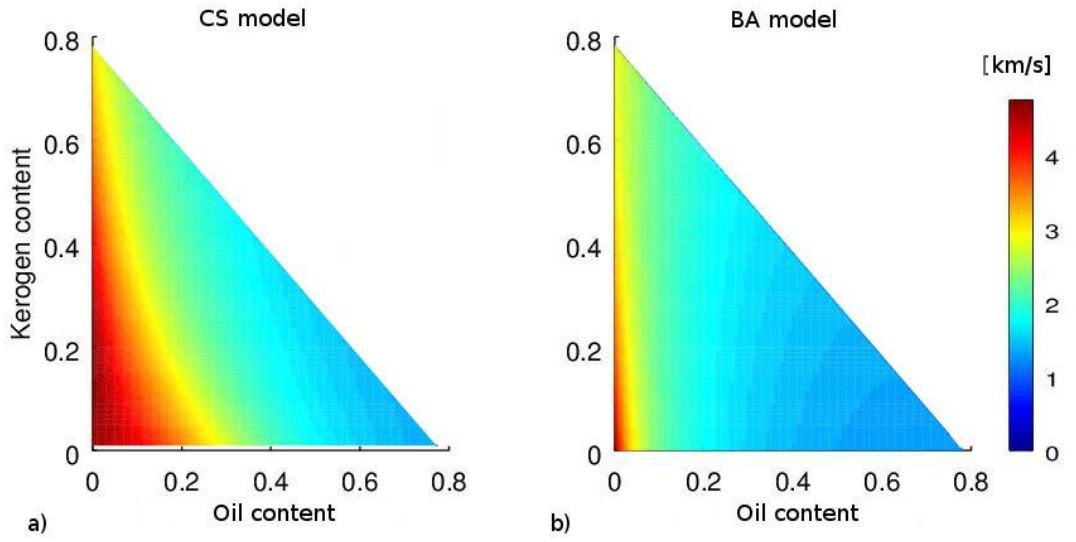


Figure 7. Normal to bedding compressional velocity versus kerogen and oil content for Bakken shale according to a) CS and b) BA models.

In Fig. 7 we plot the normal to bedding compressional velocity $v_{33}=v_p(0)$ versus kerogen content K and oil content O, where, as in the previous analysis, the values in both axis were restricted to the range of validity of the physical conditions given in Eqn.(4). In addition, the figure is limited to the domain in which the sum of the volume fractions satisfies the constraint $K+O+C=1$ (lower triangle).

As observed in Fig. 7 a) and b), the velocity model based on CS behaves more gently than the obtained using BA, which shows an abrupt decrease of the velocity with oil content and lower sensitivity to kerogen content. Although to our knowledge there are no experimental data to corroborate these results, the behavior observed in the CS model seems more reasonable from a physical point of view.

CONCLUSIONS

In this work we implemented two rock physics workflows based on Backus (1962) averaging and the Gassmann-type theory of Ciz and Shapiro (2007), for organic rich shales. These models take into account anisotropy effects and different pore infills (kerogen and oil). This is a topic of great interest at present due to the growing need to explore and characterize unconventional hydrocarbon resources.

Given the relevance of the kerogen content (or equivalently the TOC) in this kind of rocks, we used the models to compute and analyze the anisotropic seismic wave velocities, Thomsen's anisotropy parameters and other coefficients such as Young's modulus, Poisson's ratio and combined attributes, for variable kerogen fractions. Some of these coefficients are very useful for the geomechanical characterization of this kind of rocks. These models were calibrated for the black shales of the Bakken formation

(Williston basin, EEUU). The results obtained with both models are consistent, being CS model, in general, more sensitive to kerogen content than BA. However, it must be pointed out that the implementation of CS model is much more complex.

A similar analysis can be repeated for any other organic shale, as long as there is enough inormation to calibrate the models properly. In addition, the analysis can be extended to kerogen-oil-gas if necessary.

We remark the importance of using appropriate rock-physics tools to link the petrophysical and elastic properties of the formation with seismic, laboratory and borehole data. This can be useful to estimate relevant properties for the characterization of the formation.

Finally, the sensitivity observed in the different attributes to kerogen content suggests that it would be possible to estimate this parameter by solving associated inverse problems.

REFERENCES

Backus G. E., 1962. Long wave elastic anisotropy produced by horizontal layering, *Journal of Geophysical Research*, **67** (11), 4427-4440.

Brown, R. and Korringa, J., 1975. On the dependence of the elastic properties of a porous rock on the compressibility of the pore fluid. *Geophysics*, **40**, 608–616.

Carcione J., Helle H. and Avseth P., 2011. Source-rock seismic-velocity models: Gassmann versusu Backus, *Geophysics*, **76** (5), 1-9.

Ciz, R. and S. Shapiro, 2007. Generalization of Gassmann equations for porous media saturated with a solid material, *Geophysics*, **72** (6), A75–A79.

Gassmann, F., 1951. Über die elastizität poröser medien. *Vier. der Natur. Gesellschaft Zürich*, **96**, 1–23.

Holden T., Pendrel J., Jenson F. and Mesdag P., *Rock Properties for Success in Shales* , Jason white papers, 2013, http://www.jason.cgg.com

Khadeeva Y. and Vernik L., 2014. Rock-physics model for unconventional shales, *The Leading Edge* **33** (3), 318-322.

Krief, M., Garat, J., Stellingwerff, J. and Ventre, J., 1990. A petrophysical interpretation using the velocities of P and S waves (full-waveform sonic), *Log Analyst*, **31**, November, 355–369.

Mavko G, Mukerji T and Dvorkin J., 2009. *The Rock Physics Handbook* 2nd Edn. Cambridge University Press, New York.

Rüger, A., 1997. P-wave reflection coefficients for transversely isotropic models with vertical and horizontal axis of symmetry, *Geophysics*, **62** (3), 713–722.

Sayers, C. 2013. The effect of kerogen on the AVO response of organic-rich shales, *The Leading Edge* **32** (12), 1514-1519.

Sharma R. and Chopra S., 2012. New attribute for determination of lithology and brittleness: *SEG Las Vegas 2012 Annual Meeting, Expanded Abstracts*, 1389-1394.

Vernik, L. and Nur A., 1992. Ultrasonic velocity and anisotropy of hydro-carbon source rocks: *Geophysics*, **57**, 727–735.

Vernik, L. and Liu X., 1997. Velocity anisotropy in shales: a petrophysical study, *Geophysics*, **62** (2), 521–532.

Vernik L. and Milovac, 2011. Rock physics of organic shales, *The Leading Edge* **30** (3), 318-323.

Thomsen L., 1986. Weak elastic anisotropy, *Geophysics*, **51** (10), 1954-1966.

Thomsen L., 2013. On the use of isotropic parameters to understand anisotropic shale behavior, S*EG Houston 2013 Anual Meeting, Expanded Abstracts,* 320-324.

Yenugu M. and Han D., 2013. Seismic characterization of kerogen maturity: An example from Bakken shale, *SEG Houston 2013 Anual Meeting, Expanded Abstracts*, 2773- 2777.

Zargari S., Prasad M., Mba K. and Mattson E., 2013. Organic maturity, elastic properties and textural characteristics of self-resourcing reservoirs, *Geophysics*, 78 (4), D223-D235.

DETECCIÓN DE TRAZADORES SALINOS A TRAVÉS DE SIMULACIONES NUMÉRICAS DE MEDICIONES GEOELÉCTRICAS EN SUPERFICIE Y EN POZO

Bongiovanni M. V.[a], *Grünhut V.*[b], *Osella A.*[c] *y Tichno A.*[d]

[a] *Facultad de Ingeniería, Universidad Austral/CONICET, Buenos Aires, ARGENTINA*
[b]*Departamento de Matemática y Ciencias, Universidad de San Andrés/CONICET, Buenos Aires, ARGENTINA*
[c]*Departamento de Física, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, UBA, IFIBA/CONICET, Buenos Aires, ARGENTINA*
[d]*INLAB S.A., Buenos Aires, ARGENTINA*

e-mail: mbongiovanni@austral.edu.ar

RESUMEN

Geoeléctrica es un método geofísico que ilustra la distribución de resistividad eléctrica del subsuelo a partir de mediciones realizadas con electrodos ubicados sobre el terreno. Estos electrodos también pueden instalarse en pozos, con lo cual sus aplicaciones no están limitadas a investigaciones cerca de la superficie. Por lo tanto, esta técnica podría resultar apropiada para monitorear y detectar trazadores salinos en reservorios de hidrocarburos.
Dado que una cantidad considerable de yacimientos de hidrocarburos en el mundo está en la etapa de recuperación secundaria, mejorarla es importante para la industria del petróleo. En esta etapa, se inyecta agua salada en pozos a fin de mantener la presión del reservorio. El agua inyectada se mueve principalmente a través de canales de mayor permeabilidad y el conocimiento de estos canales permite estrategias técnicas con el fin de cerrarlos. Como el agua salada tiene una alta conductividad eléctrica, el uso de métodos geoeléctricos puede ser útil para detectar y observar la evolución del flujo. Una de las limitaciones de este método radica en que el fluido está generalmente contenido en caminos donde las dimensiones son mucho menores que la profundidad a la que se encuentra.
El objetivo de este trabajo fue realizar un estudio de la evolución dinámica a partir de simulaciones numéricas 3D hechas con el código Abaqus inyectando corriente mediante electrodos en superficie y midiendo potenciales mediante electrodos en pozo, a fin de evaluar la factibilidad de detectar pequeñas capas de fluidos. Nuestros resultados muestran que una vez conocida la ubicación inicial de la anomalía, la dirección de la migración puede ser determinada, colocando los electrodos de potencial en un solo pozo y con algunas mediciones en superficie. En el caso de tener un pozo con electrodos permanentes, esto podría ser un método eficaz para controlar la evolución del trazador salino.

INTRODUCCIÓN

Tradicionalmente, la explotación de reservorios de hidrocarburos se lleva a cabo en tres etapas. La primera, llamada de recuperación primaria, es donde la presión del reservorio es grande y la producción de hidrocarburos se realiza a través de bombas. La siguiente, de recuperación secundaria, es cuando se inyecta agua salina en alguno de los pozos con el objetivo de mantener la presión del reservorio. Finalmente, la última etapa es la de recuperación terciaria o recuperación asistida (EOR: Enhanced Oil Recovery, por sus siglas en inglés). En esta etapa se requiere de una estrategia de producción más

compleja, como la inyección de CO_2, solventes o polímeros. La mayoría de los reservorios se encuentran en una etapa avanzada de recuperación primaria o de recuperación secundaria y, por lo tanto, todas las estrategias de optimización que se puedan realizar para mejorarlas son muy importantes para la industria del petróleo.

En la segunda etapa, la inyección se realiza con agua salina con el fin de evitar daños en la porosidad de las rocas del yacimiento. El agua se mueve a través de canales de alta permeabilidad y si hay una gran heterogeneidad en la roca, el agua inyectada podría bordear enormes cantidades de petróleo. El conocimiento de estos canales permitiría desarrollar estrategias técnicas con el objetivo de cerrarlos.

Como el agua salina tiene una alta conductividad eléctrica, el método geoeléctrico podría ser útil para detectar e incluso monitorear la evolución del flujo ya que posee una alta sensibilidad a los cambios en la conductividad eléctrica del suelo. Las limitaciones en la aplicación de este método radican en las características del objetivo: un fluido muy conductor contenido en caminos cuyas dimensiones son mucho más chicas que la profundidad a la que se encuentra.

La sensibilidad y el poder de resolución del método geoeléctrico dependen del tipo de metodología de adquisición. Operar solamente desde la superficie del terreno puede conducir a una resolución muy limitada. Si los electrodos en superficie son usados en combinación con electrodos en pozo, la sensibilidad y resolución de las mediciones mejoran notablemente como resulta en Kemna et al., 2002.

Existen antecedentes de esta metodología para la migración de CO_2 pero no hay evidencias de este método para detectar trazadores salinos. Por lo tanto, el principal objetivo de este trabajo es estudiar la viabilidad de detectar una pluma salina en un reservorio a más de 500m de profundidad utilizando electrodos en pozo y en superficie. Para lograrlo hemos diseñado un modelo eléctrico del reservorio con datos de pozo y hemos simulado la respuesta eléctrica directa para determinar las condiciones bajo las cuales la anomalía, es decir, la acumulación de solución salina de dimensiones pequeñas comparada con la profundidad a la que se encuentra, pueda ser identificada. Si la anomalía puede ser efectivamente detectada, el objetivo es ver si es posible determinar la dirección de migración del fluido haciendo varias líneas en superficie y con electrodos en un solo pozo.

MODELO ELÉCTRICO DEL RESERVORIO

Un reservorio de hidrocarburo es un volumen que contiene petróleo, agua y a menudo una fase gaseosa, bajo una estructura geológica que permita que estos elementos no escapen a la superficie. El petróleo está confinado en un medio poroso de origen sedimentario como piedra caliza o arenisca. El reservorio modelado se encuentra ubicado aproximadamente a 500m de profundidad en el oeste de Argentina. Este reservorio está en la etapa de recuperación secundaria y nuestra atención está puesta en un área de estudio de $1km^2$, aproximadamente, donde hay 14 pozos, 6 de inyección y 8 de producción. La distancia media entre los pozos es de 300m.

Para construir el modelo, se utilizaron datos eléctricos adquiridos de los pozos en el momento de la perforación. Debido a la irregularidad del terreno, la formación

geológica conteniendo el reservorio se encuentra entre los 475m y 515m de profundidad dependiendo de la ubicación de los pozos. Para asignar valores adecuados de resistividad en el reservorio, se utilizó la ley de Archie (Archie, 1942), que proporciona la relación entre la resistividad real de una roca y su contenido de agua (Bongiovanni et al, 2013). La resistividad de la formación toma un valor entre 14ohm.m y 29ohm.m, por lo tanto a la capa del reservorio le asignamos un valor medio de ρ = 21ohm.m y un ancho de 100m. Asimismo el valor promedio asignado al trazador salino fue de 0.5ohm.m

Se construyó un modelo de capas como se observa en la Fig. 1. La primera capa resistiva (A) tiene un valor medio de ρ = 300ohm.m. Las siguientes dos capas (B y C) tienen un valor de ρ = 20ohm.m y ρ = 7ohm.m, respectivamente. Debajo de C hay una capa impermeable mayormente compuesta por arcilla que se extiende entre los 300m y los 480m de profundidad con ρ = 4ohm.m correspondiente a la roca sello. Debajo de esta capa se encuentra la formación geológica (E) conteniendo el reservorio con un valor medio de ρ = 21ohm.m. Por último, el modelo se completa con una última capa F de ρ = 6ohm.m.

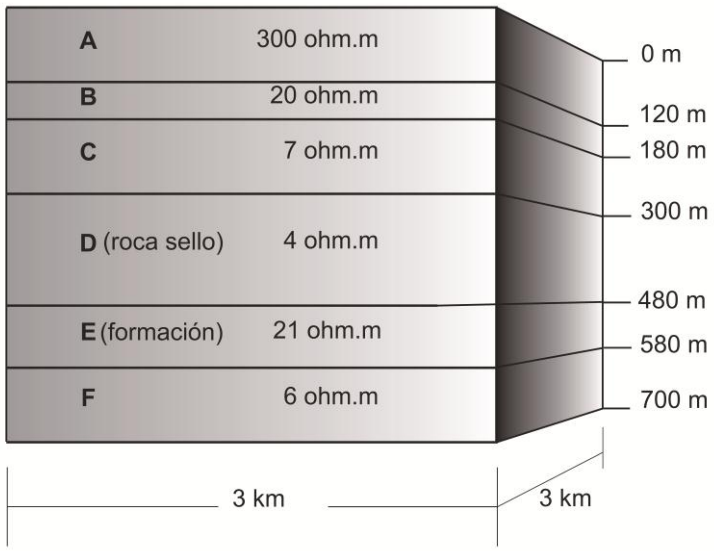


Fig. 1: Modelo eléctrico del reservorio. La capa E corresponde a la formación que contiene al reservorio.

DISEÑO DEL EXPERIMENTO SINTÉTICO

Aunque en el sitio se encuentran varios pozos, hemos estudiado la posibilidad de detectar la expansión de la pluma salina utilizando solamente un pozo. Asumimos que su ubicación inicial, después de haber sido inyectada, es conocida y queremos determinar si se puede detectar una dirección preferencial de propagación.

Hemos simulado el trazador salino como una anomalía conductora dentro de un sector circular de 90° y un radio de 212m que representa el flujo de la pluma en una dirección específica. La anomalía tiene un espesor de 8m centrado en la capa E, desde 532m a 540m de profundidad, donde según datos previos se observa una capa permeable de arenisca (ver Figuras 1 y 2). El valor de resistividad del modelo numérico fue de 5ohm.m para la zona anómala.

El próximo paso fue calcular la respuesta geoeléctrica de este modelo para diferentes configuraciones de electrodos. El caso que nos interesa no representa una geometría sencilla a resolver pues es el de una anomalía muy conductora que se encuentra dentro de un medio también conductor y, cuyas dimensiones (extensión lateral y ancho) son mucho más chicas que la profundidad donde se encuentra. Estas características requieren que la grilla sea densa en un área amplia. Para poder cumplir con estos requisitos, utilizamos el código Abaqus (2009), programa de elementos finitos 3D que puede ser utilizado para calcular la respuesta física del medio caracterizado por una malla refinada, soportando un gran número de elementos, incluidos tetraédricos.

Hemos calculado el potencial eléctrico producido por transmisión de corriente DC por medio de un par de fuentes puntuales (usualmente llamadas electrodos A y B). La medición del potencial eléctrico se lleva a cabo a través de los electrodos M y N. V_{MN} es la diferencia de potencial entre estos dos electrodos, es decir, $V_{MN} = V_M - V_N$, donde V_M y V_N son los potenciales en los sitios M y N respectivamente.

La simulación fue diseñada de acuerdo al modelo descripto en la Figura 1, que cubre un área de 3x3km^2 y 700m de profundidad. Las condiciones de contorno para las paredes laterales se simularon como un medio infinito, mientras que la superficie superior fue simulada como una superficie aislante y en la inferior se aplicó la condición de contorno de potencial nulo.

En la Figura 2a se muestra un ejemplo de distribución de potencial eléctrico debido a la inyección de corriente en puntos ubicados en A y B, junto con la malla de elementos finitos diseñada. La Figura 2b muestra una vista ampliada de la zona correspondiente a la anomalía modelada y la Figura 2c corresponde a una vista ampliada de la malla en esa zona, donde se puede ver la densificación de las celdas tetraédricas y la reducción de sus tamaños a medida que se acercan al centro de la anomalía.

Para simular numéricamente la respuesta geoeléctrica que se obtendría en el campo, se usó una configuración de superficie-pozo a lo largo de perfiles paralelos y perpendiculares a la anomalía. Para cada perfil, seis electrodos de corriente fueron colocados en la superficie; cada uno separado 500m como muestra la Figura 3. Como la profundidad requerida de penetración es de 500m, la inyección se hizo formando cuatro pares AB separados 1000m (para cada línea, estos pares son A1-B1, A2-B2, A3-B3 y A4-B4, como se muestra en la Figura 3).

Para cada posición de electrodos A y B, se calculó la distribución del potencial eléctrico, como muestra la Figura 2. Con el fin de simular los electrodos de potencial, se extrajeron los valores de potencial de 15 nodos separados 5m desde 500 a 570m de profundidad a lo largo de la dirección vertical del pozo P0. Todas las diferencias de potencial en los nodos correspondientes a la posición de los electrodos de potencial fueron calculados. Debido a la gran cantidad de nodos presentes en la grilla (300.000) diseñada con 2.000.000 de celdas, el tiempo total de CPU fue aproximadamente de 10h, utilizando una PC de 64-bit con 6GB de RAM.

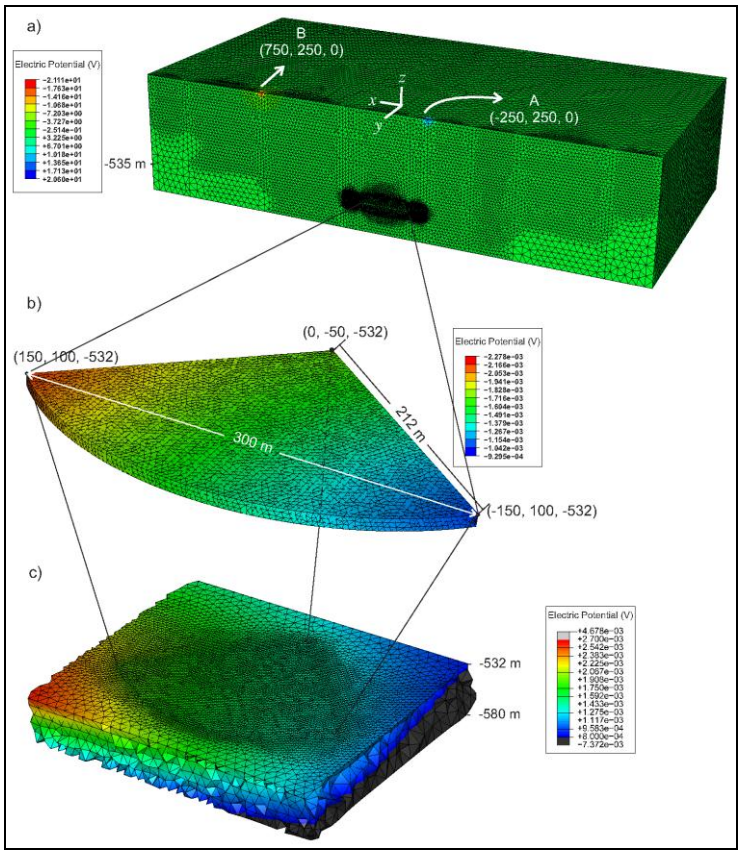


Fig. 2: a) Vista de corte de la malla de elementos finitos con la distribución del potencial eléctrico resultante a lo largo de la dirección de los electrodos de corriente. Este caso corresponde a la inyección de corriente en los puntos AB indicada en la Figura. b) Vista de corte de la anomalía. c) Vista de la malla alrededor de la anomalía, con mayor densidad de los elementos tetraédricos en la región de interés.

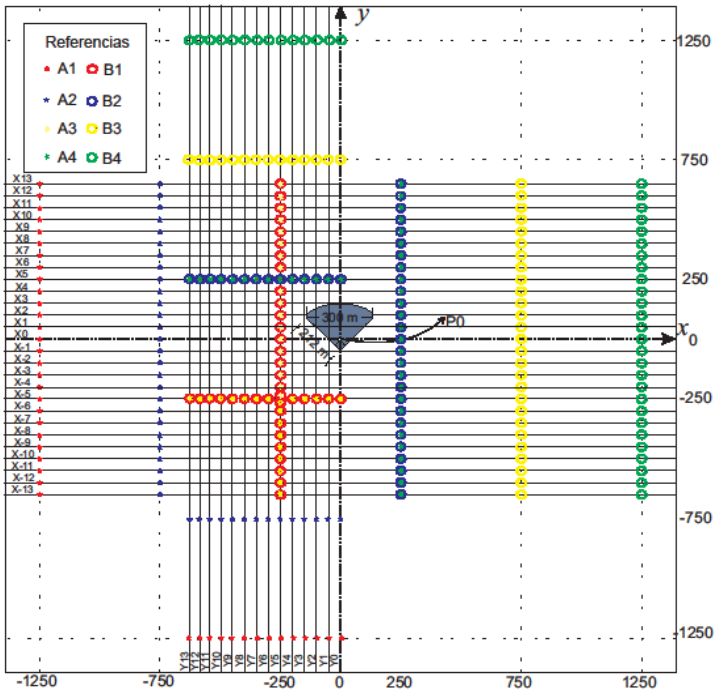


Fig. 3: Vista superior de la ubicación de las líneas de estudio, con electrodos de corriente A1-B1, A2-B2, A3-B3 y A4-B4. Está ilustrada la ubicación del pozo de inyección P0 con los electrodos de potencial. El centro del área simula la pluma del fluido, de 8m de ancho a 532m de profundidad.

CRITERIO DE DETECTABILIDAD

La dimensión de este problema requiere que la inyección de corriente de entrada sea suficiente como para penetrar aproximadamente 600m de profundidad produciendo una respuesta en el voltaje por arriba del nivel del ruido. La máxima corriente de entrada de un instrumento comercial de medición de resistividad varía desde 1A (SARIS, Scintrex) a 2.5A (SYSCAL Pro, Terraplus Inc. and Terrameter LS, ABEM). Por otro lado, en el proyecto del sitio de Ketzin, fue utilizado un arreglo vertical de resistividad (VERA, por sus siglas en inglés) y la corriente de entrada fue realizada con una fuente de alimentación TSQ-4 (Scintrex) con corrientes eléctricas de hasta 11A. En nuestro caso, la corriente de entrada fue limitada a 3A, que es el límite que se considera para prevenir daños en los cables multiconductores usados comúnmente (Bergmann et al. 2012).

La resolución del voltaje de entrada varía desde un valor teórico de 0.03µV (GFP-32", Zonge) o 0.6µV (SARIS, Scintrex), hasta alrededor de 1µV (SYSCAL Pro, Terraplus Inc.). Como se tiene que tener en cuenta la presencia de ruido ambiental, se asumió que en cada ubicación la corriente eléctrica es inyectada repetidamente por un período de una hora aproximadamente con el fin de obtener varios conjuntos de datos cuyo desvío estándar pueda ser calculado. Esta aproximación tiene la ventaja de eliminar los factores aleatorios que no están relacionados con el proceso de migración de fluidos, reduciendo en gran medida el error. Para lograr esto, hemos calculado teóricamente la precisión que se puede obtener en la señal de voltaje con diferentes cantidades de muestras y ruidos aleatorios. Podemos asegurar una precisión de 10µV con n=30 muestras añadiendo un error aleatorio gaussiano del 5%, o n=60 muestras con un error del 7%. Por lo tanto, decidimos adoptar la estimación del error basada en el mínimo voltaje resoluble. V_M, V_N y la diferencia V_{MN} fueron chequeadas para que sean mayores que la resolución del instrumento que es, teóricamente, 10µV.

A los valores obtenidos de V_{MN} les añadimos un error del 5% y del 7% suponiendo que la desviación estándar por lo general aumenta a medida que los voltajes medidos se acercan al límite de resolución, y analizamos si estos valores presentaban diferencias significativas como para distinguir los contrastes de conductividad deseados. Por otro lado, hemos tenido en cuenta la precisión obtenida de 10µV para la construcción de la malla ya que la precisión mejora con el refinamiento de la grilla. La malla fue considerada apropiada cuando el cambio en la cantidad de elementos produjo un cambio mucho menor a 10µV.

RESULTADOS

Se supuso una anomalía con un valor de resistividad de ρ = 0.5ohm.m y una corriente de entrada de 3A. Para poder determinar las zonas de detección, se calcularon las respuestas a lo largo de líneas paralelas y perpendiculares a los ejes cartesianos, siguiendo el esquema de la Figura 3. Sean $x_{-13}, \ldots, x_{13}$ las 27 líneas a lo largo del eje x situadas cada 50m entre y = - 650m e y = 650m. De forma similar, $y_0, \ldots, y_{13}$ son las 14 líneas a lo largo del eje y, ubicadas cada 50m entre x = 0m y x = -650m.

Hemos calculado el potencial en los puntos asumidos como electrodos en el pozo y las diferencias de potencial entre electrodos consecutivos M y N, en las 41 líneas (x_{-13},..., x_{13} e $y_{0,}$..., y_{13}.) para diferentes pares de inyección (AB). En particular se discuten los resultados obtenidos para los arreglos x_0, y_0 que pasan por P0. Como se muestra en la Figura 3, las líneas x_0, y_0 están ubicadas en x = 0m e y = 0m.

En la Figura 4 se muestran los potenciales en los electrodos M y N en función de la profundidad sin error, con un error del 5% y con un error del 7% sucesivamente, calculados en los dipolos A1-B1, A2-B2 para x_0 y A1-B1, A4-B4 para y_0. En todos los casos se observa que su magnitud se encuentra por arriba del límite de detectabilidad. En el caso sin error, observamos que los valores de potencial disminuyen con la profundidad de manera constante, y cuando llegan al primer electrodo (535m) dentro de la zona anómala, disminuyen en menor medida. El valor de potencial en el siguiente electrodo (540m) permanece igual al anterior. Esto es porque están dentro de un conductor. Este cambio en los valores de las pendientes de las rectas sugiere la presencia de la anomalía conductora. Es decir, en las zonas cercanas a la anomalía, las pendientes aumentan notablemente. Por otro lado, también se observa que las líneas más cercanas a la anomalía presentan en su totalidad valores más bajos de potencial. Esto también puede ser tomado como un indicador. En las Figuras 4b y 4c se muestran las líneas con error del 5 y 7% respectivamente. Si bien el efecto de la pendiente en la zona anómala se pierde, se puede deducir cuál es la línea más cercana a la anomalía observando cuál es la línea con menores valores de potencial. En la línea y_0 la más cercana a la anomalía es la que corresponde a la inyección A4-B4. Por otro lado, esta inyección es la que menores valores de potencial presenta, sugiriendo que la anomalía se expandió en esa dirección.
En la línea x_0, se muestran las inyecciones A1-B1 y A2-B2 que son análogas a las A4-B4 y A3-B3. Esto es un indicador de que la anomalía es simétrica con respecto al eje y. Se obtuvo que la más cercana a la anomalía es la que corresponde a la inyección A2-B2.

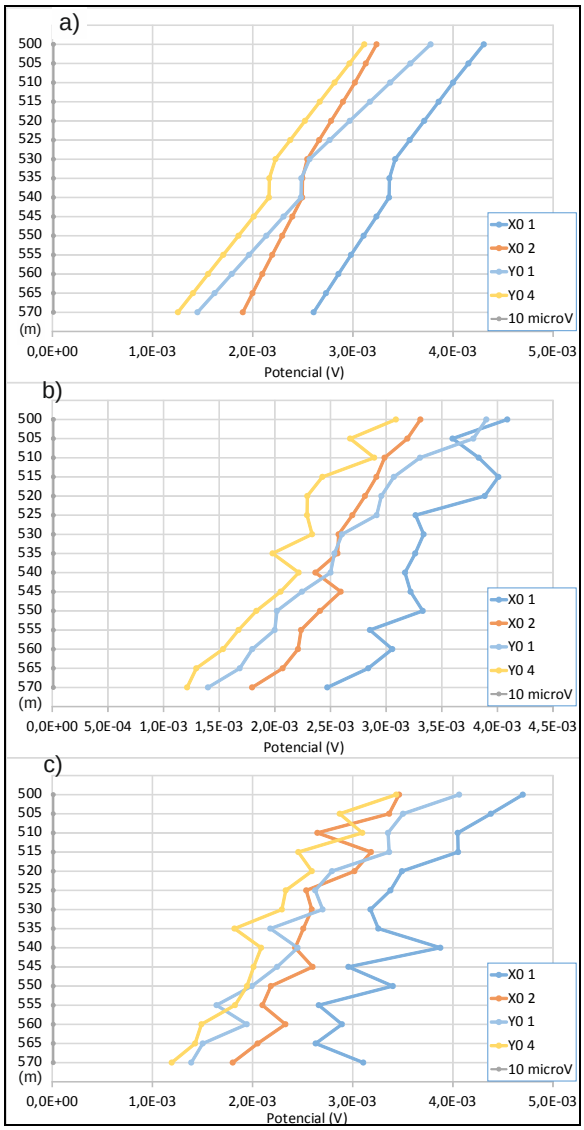


Fig. 4: Potenciales en los electrodos M y N de las líneas x_0 e y_0 en función de la profundidad. a) sin error, b) con error del 5% y c) con error del 7%.

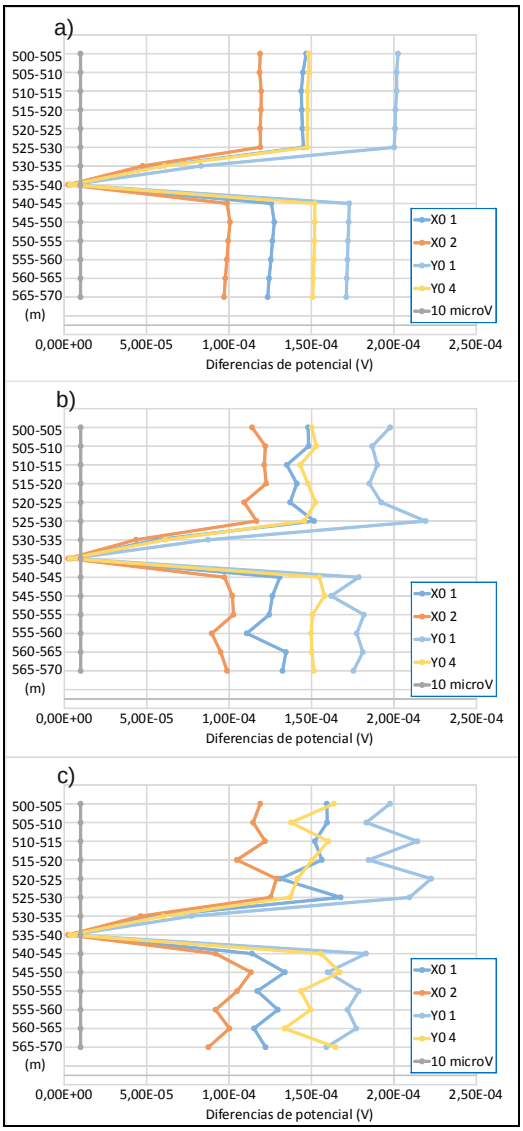


Fig. 5: Diferencias de potencial entre electrodos M y N de las líneas x_0 e y_0 en función de la profundidad. a) sin error, b) con error del 5% y c) con error del 7%.

La Figura 5 muestra las diferencias de potencial entre electrodos consecutivos M y N como función de la profundidad, calculadas sin error, con un error del 5% y con un error del 7% sucesivamente. Como puede observarse, independientemente del nivel del ruido, las diferencias disminuyen notablemente ante la presencia de la anomalía, a los 532m de profundidad, aproximadamente. A esta profundidad las diferencias son nulas por ser una anomalía conductora y, por lo tanto, un equipotencial. En todos los casos las diferencias de potencial son detectables a medida que aumenta la profundidad, pero alrededor de la zona de la anomalía los valores se encuentran por debajo del límite de detectabilidad, lo cual a la hora de tomar las mediciones en el campo, puede ser considerado como un criterio de detección.
Se observa que las diferencias de potenciales son aproximadamente constantes por arriba y por debajo de la anomalía, con valores mayores a medida que las líneas se alejan de la misma.
Por lo tanto, observando tanto los potenciales como las diferencias de potencial correspondientes, dentro de los límites de detectabilidad que hemos impuesto, pudo ser determinada la dirección de propagación de la anomalía en todos los casos.

CONCLUSIONES

Hemos estudiado la viabilidad de delimitar la propagación de una pluma salina inyectada en un pozo durante la etapa de recuperación en un reservorio de hidrocarburos (entre 500m y 600m de profundidad), con mediciones en superficie y en pozo. Para poder lograrlo, hemos diseñado experimentos sintéticos, utilizando datos obtenidos de registros eléctricos como así también información geológica obtenida de los pozos ubicados en el campo petrolero para simular un modelo eléctrico y real del reservorio. El flujo de agua salina fue modelado como una anomalía conductora situada en una lámina delgada con respecto a su profundidad (aproximadamente 8m de ancho a 500m de profundidad) con una extensión lateral estrecha (no más de cientos de metros). Como la simulación numérica de la respuesta geoeléctrica requiere de un método que permita diseñar una grilla densa utilizando elementos tetraédricos para poder calcular de manera apropiada la respuesta eléctrica de este tipo de estructuras, utilizamos el algoritmo Abaqus, basado en elementos finitos que cumple con éxito este requisito.
Hemos analizado el caso donde el contraste eléctrico de la anomalía con el medio de alrededor de un orden y medio de magnitud. Por lo general, la conductividad de la solución salina podría tener hasta tres órdenes de magnitud mayor a la del hidrocarburo. Sin embargo, como ambos fluidos coexisten, un orden y medio es un buen estimador. Con relativamente pocas inyecciones de corriente en la superficie y electrodos de potencial en el pozo, se pudo identificar la dirección del flujo del trazador salino. La importancia de esta primera localización es un resultado interesante debido a que en la práctica no se puede tener varios pozos sin saber dónde se encuentra la zona anómala. Se la puede rastrear resultando en un método eficiente de monitoreo.

Otra ventaja de este arreglo es que la corriente inyectada desde la superficie ofrece la posibilidad de una mejor localización de la anomalía. Como los electrodos de potencial están fijos en el pozo, esto se podría lograr variando la ubicación de los electrodos de superficie AB, dejando fija su separación para asegurar la penetración de la señal. De esta forma, la anomalía puede ser mapeada con mayor detalle y, teniendo en cuenta que su valor podría estar en el límite de la resolución, esto daría mayor confiabilidad a los

resultados. Aún en el caso de pocos pozos, la detección de una dirección privilegiada es un tema importante dado que permite controlar el resultado de posibles tratamientos a los que se somete el pozo con el fin de ocluir o reducir los canales de alta permeabilidad. Una vez resuelto el problema de colocación de los electrodos en los pozos de inyección y producción, el costo de medición puede ser mucho menor que con los electrodos en la superficie, especialmente cuando se considera la posibilidad de un monitoreo continuo. Controlar este sistema a lo largo del tiempo permitiría tomar decisiones de la ingeniería del reservorio y, por lo tanto, mejorar la producción acumulada de petróleo.

REFERENCIAS

Abaqus 6.9 Unified Finite Element System, 2009. Dassault Systemes Simulia Corp., Rising Sun Mills, 166 Valley Street, Providence, RI, USA. <www.simulia.com>

Archie G.E., 1942. The electrical resistivity log as an aid in determining some reservoir characteristics, *Petroleum Transactions of AIME*, **146**, 54-62.

Bergmann, P., Schmidt-Hattenberger, C., Kiessling, D., Rücker, C., Labitzke, T., Henninges, J., Baumann, G., Schütt, H., 2012. Surface-downhole electrical resistivity tomography applied to monitoring of CO_2 storage at Ketzin, Germany. *Geophysics*, **77**(6), B253- B267.

Bongiovanni M.V., Osella A., De la Vega M. and Tichno A., 2013. Detection of brine plumes in an oil reservoir using the geoelectric method, *Journal of Geophysics and Engineering*, **10**, 045006.

Kemna A., Vanderborght J., Kulessa B. and Vereecken H., 2002. Imaging and characterization of subsurface solute transport using electrical resistivity tomography (ERT) and equivalent transport models, *Journal of Hydrology*, **267**, 125-146.

LAS OBRAS VIALES COMO CONDICIONANTES DEL DRENAJE EN EVENTOS DE TORMENTA EXTREMA. CUENCA DEL RÍO SAMBOROMBÓN, BUENOS AIRES

Borzi, G. E. [a]*; Carol, E. S.* [a]

[a]*Cátedra de Hidrología General de la Facultad de Ciencias Naturales y Museo, FCNyM, Universidad Nacional de La Plata. Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas, CONICET, ARGENTINA*

e-mail: gborzi@fcnym.unlp.edu.ar

RESUMEN

La cuenca del río Samborombón se desarrolla en un ambiente de llanura de bajo gradiente hídrico, con predominio de suelos limo-arcillosos, en donde el nivel freático se encuentra próximo a la superficie, características que determinan la existencia de grandes anegamientos durante eventos extremos de tormenta. En este contexto, la creación de obras viales requiere del terraplenado y elevación del terreno, principalmente en las trazas que atraviesan la planicie de inundación del río. El objetivo del trabajo es analizar cómo las obras viales condicionan el drenaje natural de la cuenca durante los eventos de tormenta. Se analizaron los registros históricos de las precipitaciones para la identificación de los eventos de tormenta extremos. Posterior a la identificación, fue seleccionado un evento debido a la mayor superficie anegada en la imagen del satélite LandSat 5, tomada dos días posteriores al evento de tormenta. La delimitación de las áreas anegadas se realizo con la imagen satelital del 18 de mayo del 2000 mediante una combinación de bandas en falso color 452, la cual resalta el agua. En la misma se observa que las obras viales modifican localmente la morfología de la planicie de inundación, funcionando parcialmente como diques, que alteran el drenaje natural de la cuenca. En los relevamientos de campo efectuados en estas zonas se advierte que los terraplenes de las obras viales construidos perpendicular al escurrimiento superficial tienen un drenaje insuficiente, en muchos casos obturados por falta de mantenimiento. Esto, sumado a la elevación del terreno en la de planicie de inundación, produce una disminución del área de drenaje, prolongando en el tiempo la permanencia de las áreas anegadas. La construcción de nuevos drenes y la limpieza de los existentes son acciones de bajo costo que contribuirán a mejorar el drenaje y minimizar así las superficies anegadas.

INTRODUCCIÓN

Las inundaciones son uno de los fenómenos más dramáticos que afectan tanto a la población humana como a los recursos naturales. Generalmente, se las asocia a eventos meteorológicos extremos aunque muchas veces es la acción humana, con el mal manejo de las cuencas hídricas, la que favorece la ocurrencia y aumenta la duración o la intensidad de las mismas (Di Bella et al. 2008). La información satelital es utilizada habitualmente como una herramienta que permite realizar cartografías de áreas afectadas por inundaciones (Díez Herrero, 2002, Quiroz Londoño et al. 2013). No obstante, la mayoría de las veces es necesario integrarla con otros tipos de información, conformando un sistema de información geográfica (Horcajada et al. 2000).

La provincia de Buenos Aires se encuentra en la región pampeana, que se caracteriza por tener un relieve poco desarrollado con pendientes topográficas regionales que oscilan entre 10^{-3} y 10^{-4} (Sala et al., 1983). La cuenca del río Samborombón se ubica en el noreste de la provincia y abarca una superficie de 5400 km^2 (ver Fig. 1). Su curso

tiene un drenaje dendrítico en el que se desarrolla una amplia llanura de inundación, alcanzando un ancho de 3,5 km en algunos tramos. La cuenca presenta un predominio de suelos limo-arcillosos, en donde el nivel freático se encuentra próximo a la superficie, características que determinan la existencia de grandes anegamientos durante eventos extremos de tormenta.

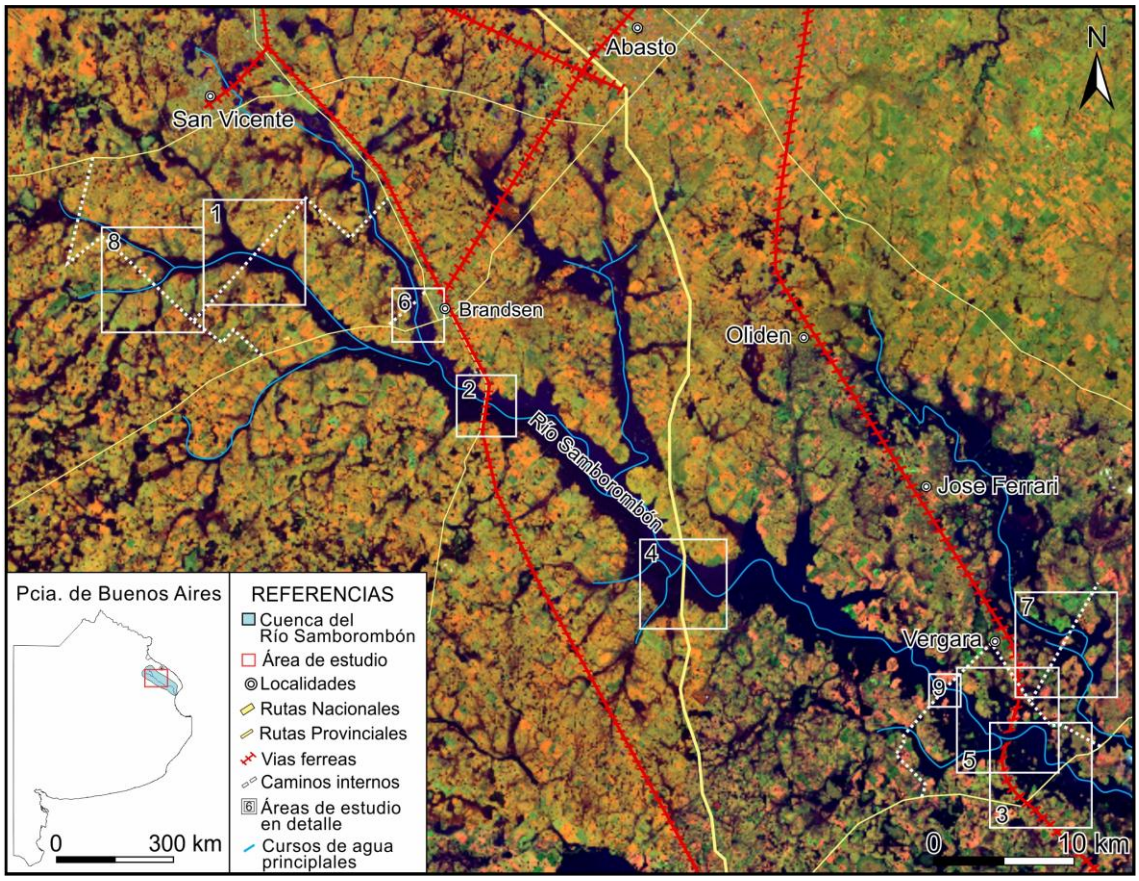


Figura 1. Ubicación de áreas de estudio. Mosaico del satélite LandSat 5 y 7 posterior al evento de tormenta del día 16 de mayo del año 2000 en combinación de bandas 452.

Las inundaciones regulares del área condujeron, ya desde la instauración del ferrocarril, a la construcción de terraplenes elevados que soportaran las crecidas del río y que quedan por encima de la cota de inundación para la utilización de los caminos o vías férreas, sin importar las condiciones en las que se encuentre el rio.
El objetivo del trabajo es analizar cómo las obras viales condicionan el drenaje natural de la cuenca del río Samborombón durante los eventos extremos de tormenta. La identificación de estas obras, principalmente asociadas a terraplenes, permitirá determinar los sitios donde el drenaje del río se vea parcialmente impedido en épocas de crecida por una reducción de la sección de la llanura de inundación.

MATERIALES Y MÉTODOS

Mediante la utilización de registros diarios, semanales y mensuales cedidos por el Servicio Meteorológico Nacional (SMN), se realizo un análisis de los eventos de precipitaciones extremas para el periodo 1900-2014.

Se realizo un relevamiento de las imágenes satelitales de la serie LandSat, desde sus comienzos (1972) a la actualidad considerando los eventos de precipitaciones extremas de los datos anteriormente citados, con el fin de identificar las áreas anegadas durante estos eventos. Se seleccionaron dos imágenes del satélite LandSat 5 y 7, que se relacionan con un evento lluvioso ocurrido el 16 de mayo del año 2000. Las imágenes seleccionadas se corresponden a dos y tres días posteriores al evento y la elección de las mismas se debió a la baja nubosidad y a que la cobertura areal del agua fue mayor respecto a otras imágenes (ver Fig. 1). Se confecciono un SIG mediante el Software ArcGIS 10.0 para la combinación las bandas de las imágenes satelitales. Las mismas fueron combinadas en RGB 452 para realzar las áreas anegadas, evidenciándose una coloración azul en estas. Las zonas relativamente más secas y elevadas presentan un color anaranjado y las coloraciones verdosas indican sitios con contenidos de agua intermedios. Los centros poblados se encuentran de color turquesa y las áreas con una vegetación más frondosa como arboles tienen coloraciones rojizas. Se utilizaron capas vectoriales de obras viales (obtenidas a partir del Servicio Geológico Nacional) para contribuir a la selección de las áreas de detalle.
Este procesamiento contribuyo a la elección de sitios para un posterior reconocimiento de campo, así como también la delimitación de la llanura de inundación. La utilización de imágenes satelitales del satélite QuickBird (Software Google Earth) permitió la identificación y cuantificación de estructuras como los drenajes de los terraplenes entre otras.

RESULTADOS

El análisis de imágenes satelitales obtenidas luego de eventos extremos de precipitaciones, muestra que el agua del escurrimiento superficial desborda el cauce principal colmatando la planicie de inundación. Esta llanura de inundación, que constituye un área plana de escasa pendiente, es morfológicamente modificada por las obras viales, principalmente aquellas que atraviesan de manera perpendicular el cauce del río. La acreción de material para la formación de terraplenes donde se asientan las rutas, caminos internos y vías férreas produce una elevación de la cota del área de planicie de inundación que condiciona el natural escurrimiento superficial. A esto se suma que las secciones de los drenes en los terraplenes se construyen sólo en el tramo del cauce del río (ver Fig. 2 a 5, 10 y 11). A continuación se analizarán algunos ejemplos característicos donde se observa cómo los terraplenes modifican el drenaje natural de la cuenca.
En el área 1 (ver Fig. 1, Fig. 2a y Fig. 6), se observa cómo el terraplén de la traza del camino rural constituye una estructura positiva perpendicular al drenaje, que se extiende cerca de 1,9 km dentro de la planicie de inundación. En toda esta sección sólo se observan dos sistemas de drenaje cuya longitud es de 15 m en el curso principal y de 5,5 m en un drenaje lateral al curso. En la imagen durante el evento de inundación se evidencia cómo se limita el escurrimiento fluvial en la zona de terraplén ocasionando una acumulación del agua que se extiende lateralmente aguas arriba del terraplén.

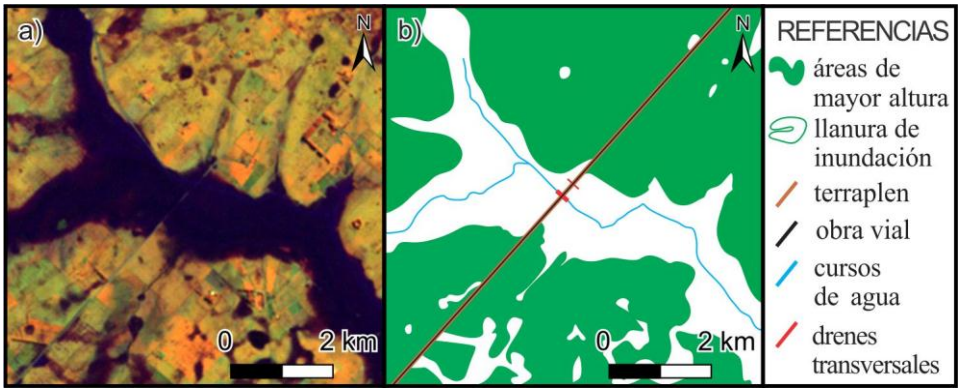


Figura 2. a) Imagen LandSat del año 2000 del área 1 (ver Fig. 1), b) mapa temático basado en la imagen satelital en donde se puede observar el drenaje del terraplén.

Las vías férreas paralelas a la ruta provincial 29 (ver Fig. 7) atraviesan el cauce del río en la cuenca media con un terraplén que se extiende 2 km de manera perpendicular al flujo superficial de la planicie de inundación (ver Fig. 1 y Fig. 3a). En toda esta sección sólo existe un drenaje de aproximadamente 50 m de longitud en el cauce del río y dos drenes menores hacia la margen derecha de sólo 15 m (ver Fig. 3b), estos últimos ausentes en la ruta provincial. La imagen satelital muestra que durante el evento de inundación analizado, sólo aguas arriba en la margen derecha de la planicie se produce una leve acumulación de agua en la zona lindante al terraplén.

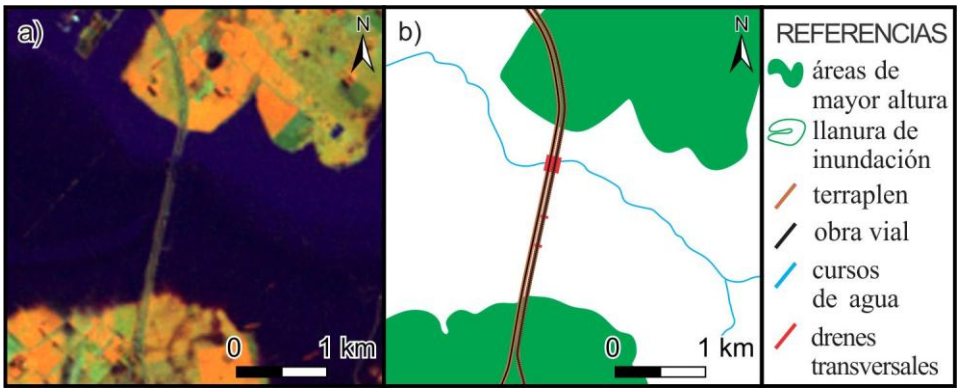


Figura 3. a) Imagen LandSat del año 2000 del área 2 (ver Fig. 1), b) mapa temático basado en la imagen satelital en donde se puede observar los drenajes de los terraplenes.

La ruta provincial 20 (ver Fig. 1, 4 y 8) no posee pavimento asfaltico y atraviesa perpendicularmente el cauce del río en el sector medio de la cuenca. Si bien no es una de las principales rutas de circulación, la construcción del terraplén para elevar el camino de ripio en la llanura de inundación muestra a diferencia de los casos anteriormente descriptos una gran cantidad de drenajes (ver Fig. 4b). En el tramo de terraplén de 3 km de longitud existe un drenaje de 100 m en el curso del río y catorce drenajes de cerca de 15 m de longitud en la planicie de inundación. En la imagen satelital (ver Fig. 4a) se observa que durante la inundación el terraplén no produce una disturbación significativa del drenaje sin registrarse aguas arriba del mismo una acumulación del agua.

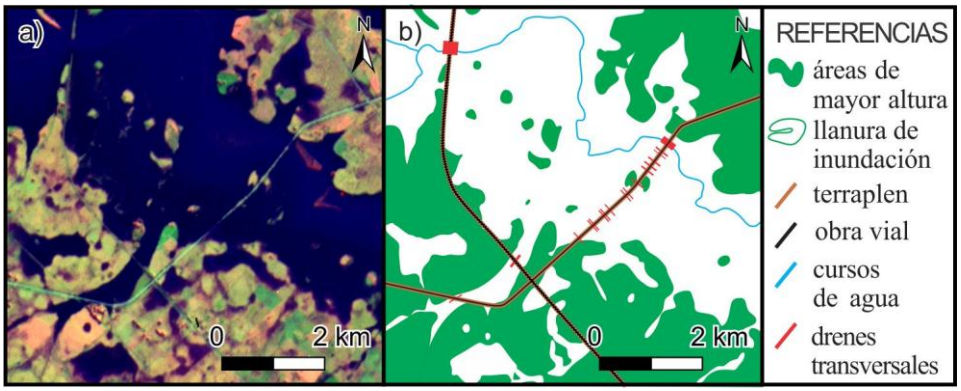


Figura 4. a) Imagen LandSat del año 2000 del área 3 (ver Fig.1), b) mapa temático basado en la imagen satelital en donde se puede observar los drenajes de los terraplenes.

La figura 5 muestra la ruta nacional 2 en el tramo que atraviesa la llanura de inundación del río Samborombón. El terraplén de esta ruta se eleva por más de 3 km por sobre la cota de la planicie de inundación (ver Fig. 9) siendo uno de los más altos observados en toda la cuenca. Este área representa la mayor extensión de la llanura de inundación, la cual alcanza un ancho de 3,5 km aproximadamente. Pese a la magnitud de dicho terraplén y la importancia de la ruta, la construcción del mismo sólo posee dos drenajes de 350 m y de 210 m en el curso del río donde la ruta separa sus carriles y dos drenajes de 10 m de longitud aproximadamente en la planicie de inundación. En la imagen satelital (ver Fig. 5a) se observa que durante la inundación, el terraplén constituye una obstrucción al escurrimiento superficial, ocasionando una importante acumulación de agua en la margen derecha del río, aguas arriba de la obra vial.

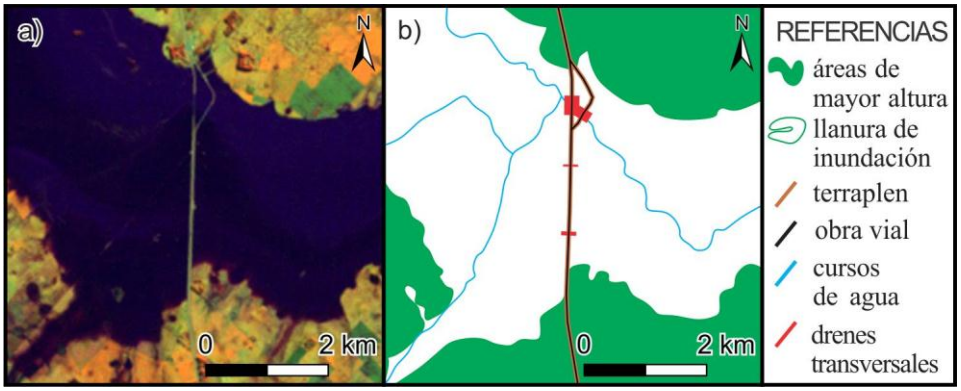


Figura 5. a) Imagen LandSat del año 2000 del área 4 (ver Fig. 1), b) mapa temático basado en la imagen satelital en donde se puede observar los drenajes del terraplén.



Figura 6. Foto panorámica del área 1 (ver Fig. 1). La línea punteada blanca muestra la morfología natural del terreno.

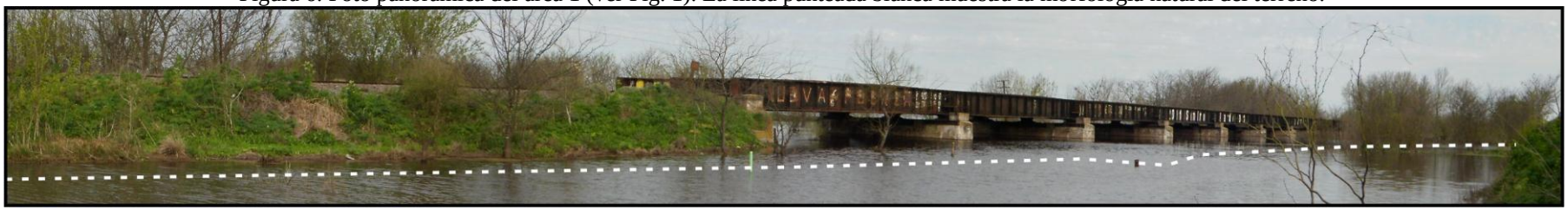


Figura 7. Foto panorámica del área 2 (ver Fig. 1). La línea punteada blanca muestra la morfología natural del terreno.



Figura 8. Foto panorámica del área 3 (ver Fig. 1). La línea punteada blanca muestra la morfología natural del terreno.



Figura 9. Foto panorámica del área 4 (ver Fig. 1). La línea punteada blanca muestra la morfología natural del terreno.

El terraplén observado en el área 5 (ver Fig. 1 y 10) corresponde a las vías abandonadas del ferrocarril provincial el cual se eleva al menos 3 m por sobre el nivel local (ver Fig. 15). El mismo se extiende 3,3 km perpendicularmente al curso del río en la sección media de la cuenca y solo presenta dos zonas para la eliminación de excedentes hídricos, siendo la principal en el curso del río de 270 m y la secundaria dentro de la llanura de inundación de 10 m. En el curso aun se encuentran los pilares del antiguo puente, hoy ausente. En la imagen satelital del año 2000 (ver Fig. 10a) se evidencia como el terraplén queda por arriba de la llanura de inundación durante el evento de tormenta, reduciendo la sección del drenaje.

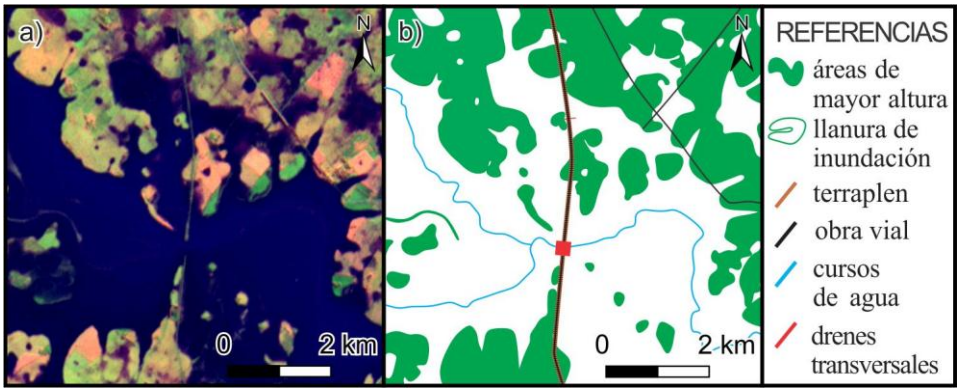


Figura 10. a) Imagen LandSat del año 2000 del área 5 (ver Fig. 1), b) mapa temático basado en la imagen satelital en donde se puede observar los drenajes del terraplén.

Al oeste de la localidad de Brandsen se observan dos terraplenes en la planicie de inundación del río (ver Fig. 1 y 11). Uno de los terraplenes fue construido levemente perpendicular a la traza del río hace más de 14 años (ver Fig. 16). La obra no fue concluida y hoy se encuentra dentro de la llanura de inundación, elevándose 3 m sobre el nivel local con una longitud de 1,2 km. En ella existen solo dos zonas por donde escurre el agua, la primera de 43 m de longitud corresponde al puente en donde termina el terraplén que no conecta con la margen izquierda. El segundo sector es sobre la margen izquierda y es un tramo de 130 m donde la llanura de inundación no posee terraplén (ver Fig. 11a, 11b y 16). El otro terraplén al oeste de dicha localidad pertenece a la ruta provincial 215. La misma constituye una gran elevación respecto al terreno y tiene una longitud de 1,5 km dentro de la llanura de inundación, dejando sólo 66 m correspondientes a la sumatoria de los únicos 3 drenajes transversales.

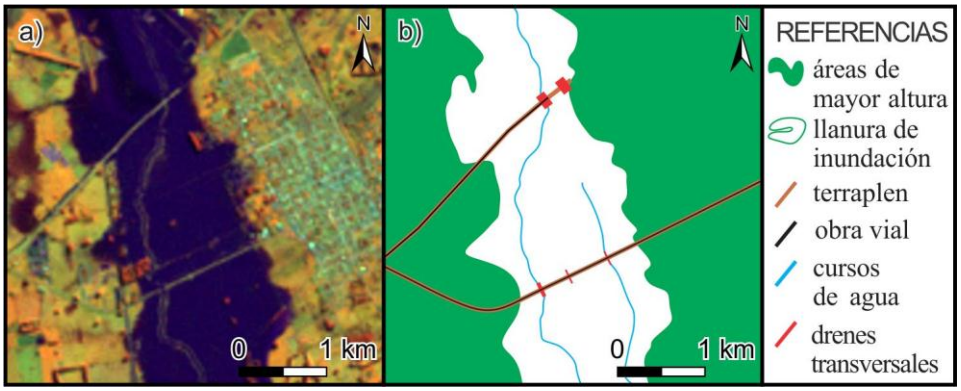


Figura 11. a) Imagen LandSat del año 2000 del área 6 (ver Fig. 1), b) mapa temático basado en la imagen satelital en donde se puede observar los drenajes de los terraplenes.

La Figura 12 muestra un afluente del río que se localiza en el sector medio de la cuenca (ver Fig. 1). En el mismo existe un terraplén que está levemente elevado respecto de la cota local (ver Fig. 18a) que tiene drenajes constituidos por ductos prefabricados de cemento espaciados regularmente conformando un puente vado. En la imagen del año 2000 (ver Fig. 12a) se observa que la inundación cubre el terraplén y no se evidencia acumulación aguas arriba posterior al evento de tormenta. Si bien aquí los drenes abarcan toda la sección de la planicie, la falta de mantenimiento de la obra hace que parte de los drenes esté actualmente obstruido por el colapso de los mismos (ver Fig. 17b).

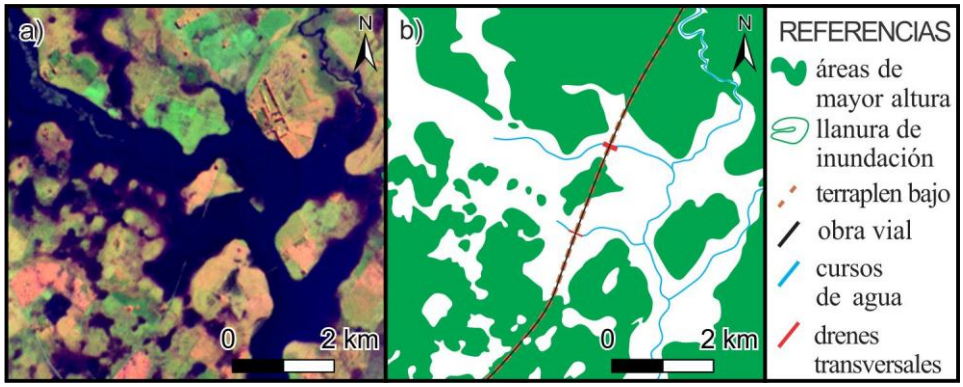


Figura 12. a) Imagen LandSat del año 2000 del área 7 (ver Fig. 1), b) mapa temático basado en la imagen satelital en donde se puede observar los drenajes del terraplén.

En el sector de cabecera de la cuenca, en las cercanías de San Vicente (ver Fig. 1 y 13) se encuentra un vado a nivel (ver Fig. 18b) perpendicular a un arroyo, sin la construcción de un terraplén. La imagen del año 2000 (ver Fig. 13 a) no muestra acumulación de agua en las cercanías del vado y la localización del mismo queda evidenciada en la Figura 13b en donde el drenaje transversal está desprovisto de terraplén.

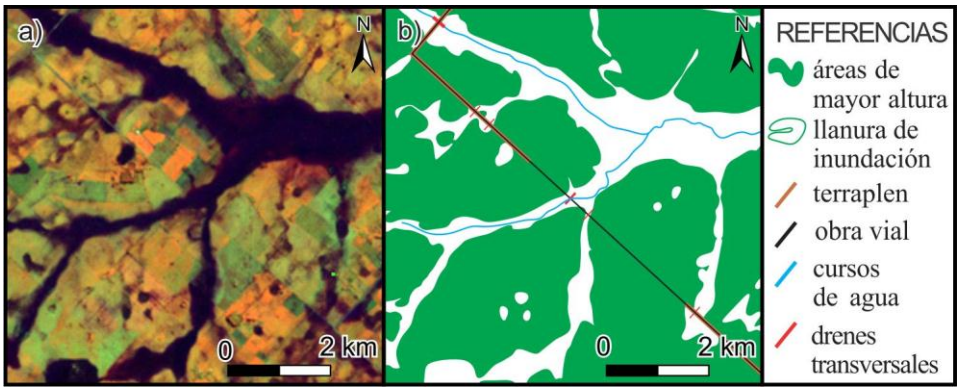


Figura 13. a) Imagen LandSat del año 2000 del área 8 (ver Fig. 1), b) mapa temático basado en la imagen satelital en donde se puede observar los drenajes del terraplén y el vado (ver Fig. 18b).

En el área 9 (ver Fig. 1 y 14) se muestra un camino rural que cruza al río con una estructura de tipo puente vado que se extiende a lo ancho de todo el curso (60 m) y cuenta con drenes transversales continuos compuestos por ductos de cemento

prefabricados. Los mismos no se extienden en toda la estructura, sino que se limitan a la zona central con una extensión de 25 m. Aguas abajo la estructura se encuentra parcialmente colapsada y sin mantenimiento (ver Fig. 14c). Esta obra genera un desnivel en el agua del río a ambos lados de la misma el cual se observa en la figura 14a. La sección del cauce se ensancha aguas abajo (ver Fig. 14 b) y este ensanchamiento solo se produce en las cercanías del puente vado, recuperando la sección natural a media que continua el recorrido del cauce.



Figura 14. a) drenaje aguas arriba, b) imagen satelital del área 9 (ver Fig. 1), c) drenaje colapsado aguas abajo.

En el área denominada Corral del Indio situado a 15 km al sudoeste de la localidad de Verónica, se puedo observar un dique de cemento que hoy se encuentra parcialmente destruido y sin uso. La reducción de la sección del cauce debido a esta estructura puede observarse en la Figura 17a.

La ruta provincial 6, en las cercanías de la localidad de San Vicente, posee un terraplén que se eleva por encima del terreno de 2 a 3 metros dependiendo del sector. La misma se encuentra en obra actualmente y muchos drenajes antiguos fueron cambiados por unos actuales de mayor sección (ver Fig. 18c). Sin embargo la sección de los antiguos drenajes es menor, encontrando a estos aguas abajo, por lo que reduce la sección del mas nuevo. También se observo la falta de mantenimiento en estos antiguos drenajes (Fig. 17c) que se encontraron obstruidos por escombros y en otros casos por plantas acuáticas.



Figura 15. Foto panorámica del área 5 (ver Fig. 1). La línea punteada blanca muestra la morfología natural del terreno.



Figura 16. Foto panorámica del área 6 (ver Fig. 1). La línea punteada blanca muestra la morfología natural del terreno.

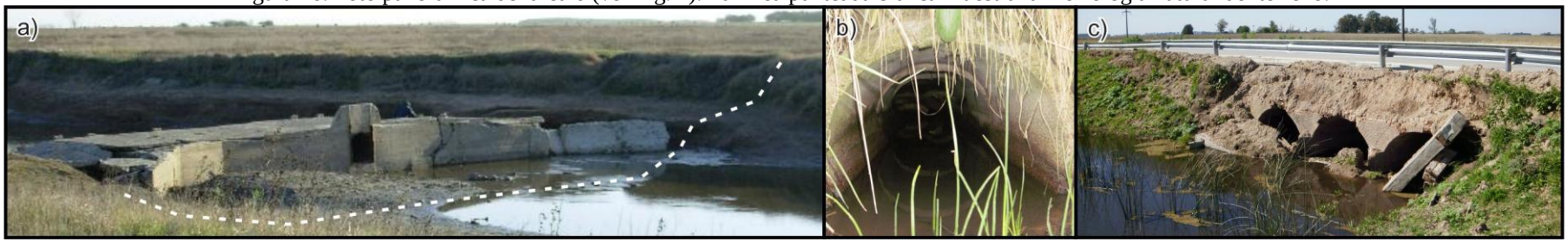


Figura 17. a) Foto panorámica de Corral del Indio, b) drenaje obstruido por colapso dentro del área 7 (ver Fig. 1), c) drenaje obstruido por falta de mantenimiento en las cercanías de San Vicente (Ruta 6).

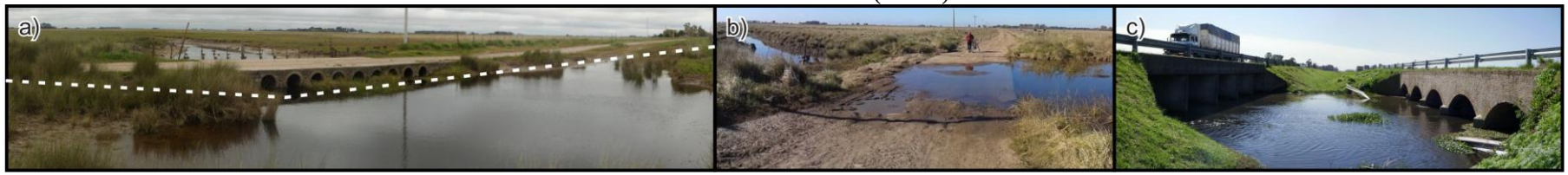


Figura 18. a) Foto panorámica del área 7 (ver Fig. 1). La línea punteada blanca muestra la morfología natural del terreno, b) vado en el área 8 (ver Fig. 1), c) drenaje transversal reciente y de mayor sección aguas arriba (izquierda) y antiguo de menor sección aguas abajo (derecha), en la Ruta provincial 6.

DISCUSIÓN

Las áreas de detalle descriptas en la cuenca hacen referencia a los ejemplos más representativos de obras viales que modifican el drenaje vistos en la misma. La problemática común observada en las áreas 1 a 6 es debida a la construcción de terraplenes donde se eleva cerca de 3 m la cota local del terreno. Estos cuentan con escasas zonas de drenaje, siendo las mismas de pocos metros en comparación con la extensión del terraplén dentro de la llanura de inundación. Cabe destacar que las áreas 5 y 6 constituyen terraplenes que poseen obras viales en desuso las cuales obstaculizan la escorrentía de manera innecesaria, al igual que la obra de Corral del Indio.

La problemática de las obras viales en un río con una amplia llanura de inundación es que construir puentes a lo largo de la misma resulta muy costoso, teniendo que recurrir a los terraplenes como obras de aproximación, restando esto anchura a la sección del río. El bajo costo de los terraplenes y el alto del puente hace que la construcción de este último sólo se limite a la sección del río, ocupando los terraplenes el resto de la llanura de inundación. La existencia de drenajes transversales en el terraplén permite la evacuación del excedente hídrico durante las crecidas para evitar que la obra vial retenga agua durante estos eventos. La reducción de la sección puede traducirse en una sobreelevación del nivel aguas arriba (Richardson et al. 2001), produciendo un aumento de la velocidad del agua y erosión del lecho aguas abajo del puente. Además otras obras que se encuentre aguas abajo que estrechan la sección de la llanura pueden hacer crecer los niveles aguas arriba.

Las obras viables presentes en las aéreas 7 a 9 respetan significativamente la llanura de inundación, el cauce y la cota local. Los vados a nivel como ocurre en el área 8 parece una alternativa de bajo costo y con buen resultado en donde el cauce es de poco caudal o efímero. Los puentes vado permiten el paso del agua a través de los mismos durante todo el año, en zonas con mayor caudal que las de un vado común. Sin embargo, el mantenimiento de estos debe ser continuo para no generar un desnivel y una erosión debió a la caída del agua aguas abajo (Vide 2002). Ambas estructuras quedan cubiertas por el agua en época de crecida por lo que debería evaluarse la duración de la misma y los gastos económicos de un desvió por otra ruta. La alternativa de terraplenes más bajos que los puentes da lugar a puentes desbordables. El agua desborda por los terraplenes circulando por toda la llanura de inundación, sin comprometer al puente (parte más costosa de la obra) por la erosión en la cimentación (Vide 2002).

CONCLUSIONES

El análisis preliminar efectuado a partir de imágenes satelitales en eventos de inundación y los relevamientos de campo permitieron reconocer cómo las obras viales condicionan el drenaje de la cuenca del río Samborombón en eventos extremos de tormenta. Las obras viales reducen la sección de la llanura de inundación, que sumado a la baja pendiente de la misma, se traduce en un escurrimiento impedido y en una mayor permanencia del agua en estas zonas, retrasando su drenaje. Los terraplenes funcionan como obstáculos en épocas de crecidas, endicando parcialmente el agua debido a sus escasos drenajes transversales. La sección de los drenajes limitada a los cursos retrasa la salida del agua en cada obra vial transversal a un arroyo o al río en época de crecida.

La construcción de puentes a lo largo de toda la llanura de inundación seria la opción más indicada para este tipo de problemática, no perturbando la llanura de inundación de los ríos, sin embargo esto es en extremo costoso y se debe recurrir a otras alternativas.
La construcción de nuevos drenes y la limpieza de los existentes son acciones de bajo costo que contribuirán a mejorar el drenaje y minimizar así las superficies anegadas en las áreas 1 a 4 que tienen extensos terraplenes.
Las obras viales en desuso o sin terminar que cuentan con un extenso terraplén, como en el área 5 y 6, así como la estructura de Corral del Indio, podrían extraerse sin mayores complicaciones, pudiendo facilitar el escurrimiento de la cuenca. Por último, alternativas que respetan la morfología llanura de inundación como vados o puente vados en áreas de poco caudal son muy plausibles como se ve en las áreas 7, 8 y 9, sin embargo su mantenimiento es muy importante para no generar una acumulación de agua aguas arriba y una caída de la misma generando erosión retroscedente.
La escasez de datos de caudales y recurrencia de las inundaciones en la cuenca hace que la identificación a partir de imágenes satelitales y reconocimiento de campo sea sólo una primera aproximación. La realización de estudios más detallados que contemplen el monitoreo de caudales, evaluación de recurrencia de crecidas, calado de los terraplenes, morfología de la planicie, etc., permitirá generar pautas de restauración especificas para cada sector estudiado. La escasa información existente para la cuenca, sumado a los costos de las estructuras viales con puentes amplios y mayor cantidad de drenes se traduce en las alteraciones descriptas en el presente trabajo, las cuales agravan los problemas de anegamientos que padecen algunos sectores de la cuenca.

REFERENCIAS

Díez Herrero, A. 2002. Aplicaciones de los Sistemas de Información Geográfica al análisis del riesgo de inundaciones fluviales. *Los Sistemas de Información Geográfica en la Gestión de los Riesgos Geológicos y el Medio Ambiente, Serie Medio Ambiente. Riesgos Geológicos 3. Publicaciones del Instituto Geológico y Minero de España, Ministerio de Ciencia y Tecnología. Madrid*. 85-112.

Di Bella C.M., Posse G., Beget M.E., Fischer M.A., Mari N., Veron S. 2008. La teledetección como herramienta para la prevención, seguimiento y evaluación de incendios e inundaciones. Ecosistemas, *Asociación Española de Ecología Terrestre* **17**, 39-52.

Horcajada, H. T.; Simancas, C. M. R. y Dorta, A. S. 2000. La constatación y validación de los mapas de riesgo de avenidas en pequeñas cuencas hidrográficas mediante Sistemas de Información Geográfica. Propuesta metodológica y aplicación a la ordenación del territorio. *Boletín de la A.G.E.*, **30**, 135-154.

Quiroz Londoño, O. M., Grondona , S. I., Massone, H. E., Farenga, M., Martínez, G., Martínez, D. E. 2013. Modelo de anegamiento y estrategia de predicción-prevención del riesgo de inundación en áreas de llanura: el sudeste de la provincia de Buenos Aires como caso de estudio, *GeoFocus*, **13**, 76-98. ISSN: 1578-5157.

Richardson, E. V., Simons D. B., Lagasse P. F. 2001. River engineering for highway encroachments: Highways in the river environment. *Rep. FHWA NHI 01-004, Natl. Tech. Inf. Serv.*, Springfield, Va.

Sala J.M., Gonzalez N., Kruse Y.E. 1983. Generalización hidrológica de la provincia de Buenos Aires. *Coloquio Internacional sobre Hidrología de Grandes Llanuras*, **2**, 976-1009.

Vide, M. J.P. 2002. Ingeniería de Ríos. *Edicions UPC.*

SUSCEPTIBILIDAD A LA LICUEFACCIÓN DE LOS SUELOS DEL SECTOR ORIENTAL DEL GRAN MENDOZA, ARGENTINA

Carini F. D.

Departamento de Geologia, Universidad Nacional de San Luis. ARGENTINA

e-mail: fdcarini@gmail.com

RESUMEN

La licuefacción de suelos es un efecto sísmico secundario que produce una transformación reversible de un suelo en estado sólido, compuesto por material granular saturado, a uno líquido, debido al aumento de la presión de poros durante un terremoto; ocasionando, bajo ciertas condiciones, importantes fallas del terreno. En el presente trabajo se destacan algunos de los avances realizados sobre el análisis de la susceptibilidad a la licuefacción de los suelos del cinturón oriental del aglomerado urbano Gran Mendoza, ubicado en una región con gran número de manifestaciones históricas del fenómeno, que han impactado negativamente en el desarrollo y la economía local. El estudio consistió de un análisis local de suelos (en campo y laboratorio), actividad sísmica regional, comportamiento hidrogeológico e identificación de fuentes sismogénicas, desde una visión holística. A su vez se aplicó un método heurístico de clasificación de suelos en base a su susceptibilidad a la licuefacción, dentro de un marco Multivariable y con aplicación directa en campo, que fue comparado con otros métodos similares ya existentes. Los resultados obtenidos permitieron generar cartografía temática y demostraron que los suelos de la zona de estudio son, bajo las condiciones actuales, altamente susceptibles a ser licuados ante una agitación sísmica, cuya magnitud dependerá de la distancia epicentral. Esta alta susceptibilidad se debe principalmente al tipo de suelo no cohesivo de origen fluvial y fluvio-lacustre-barreal, a los niveles freáticos cercanos a la superficie y al gran potencial sismogénico regional. Se presentan estos resultados cuantificados en informes, tablas y adaptados a un adecuado Sistema de Información Geográfico.

Palabras Clave: Licuefacción, Susceptibilidad, Peligro Sísmico, Mendoza.

INTRODUCCIÓN

Los efectos geológicos causados por los sismos son divididos en dos categorías: efectos primarios y efectos secundarios. Los primarios son aquellos ocasionados por la energía liberada, incluye la ruptura de una falla en superficie, levantamientos y subsidencias tectónicas. Los efectos secundarios son aquellos causados por la agitación del terreno, como los movimientos de laderas y la licuefacción. La licuefacción es un proceso complejo donde interviene no solo la agitación sísmica, sino también las características del suelo y el nivel freático. Por lo que se analizaron cada uno de estos factores y cómo su interacción puede desencadenar el proceso.

En el presente trabajo se analizó la susceptibilidad de los suelos del Cinturón Oeste del Gran Mendoza a la licuefacción, analizando los diversos factores que condicionan el proceso y su incidencia en la zona de estudio. Durante los últimos 200 años en la República Argentina y especialmente en la región de estudio, se han registrado al menos trece terremotos con características destructivas y fenómenos de licuefacción asociados

que han impactado negativamente en el desarrollo y la economía local. En la actualidad el estudio del proceso es subestimado, limitándose solo al análisis de datos históricos y aspectos geomorfológicos regionales.

Durante el desarrollo del presente trabajo se intenta dar una visión general de los diversos aspectos involucrados en el proceso. A su vez se aplican criterios capaces de estimar la susceptibilidad de los suelos y el medio a la licuefacción.

Las conclusiones y resultados obtenidos procuran tener un carácter abarcativo y holístico de las variables involucradas, convirtiéndose en un necesario aporte al avance del conocimiento de los procesos que tienen lugar en la región, y que, ante la constante y acelerada expansión poblacional, asista a una correcta y eficiente planificación urbana.

NATURALEZA Y TIPO DE TRABAJO

El presente trabajo tiene un carácter aplicado e informativo, desde el punto de vista geológico y ambiental para la población en su conjunto. La naturaleza del trabajo se basa en brindar información a especialistas del ámbito ingenieril y ambiental, sentando así las bases para futuros estudios multidisciplinarios que permitan, con mayor exactitud, implementar medidas correctivas y de prevención en el marco del ordenamiento territorial. Está fundamentado en la investigación metodológica dentro del espacio de la Geología Ambiental, utilizando a dicha disciplina en el reconocimiento, exploración, determinación y solución de problemas de carácter netamente geológicos de difícil previsibilidad, que afectan a la sociedad en cualquier ámbito de desarrollo humano.

METODOLOGÍA GENERAL

El trabajo consistió principalmente de cuatro etapas: 1) Etapa de Gabinete Preliminar (Búsqueda bibliográfica, digitalización de mapas y fotointerpretación); 2) Etapa de Campo (Toma de muestra, datos y ensayos *in situ*); 3) Etapa de Laboratorio (Procesamiento de muestras); 4) Etapa de Gabinete Final (Procesamiento de la información).

Para llevar a cabo esta investigación se analizaron 57 muestras de suelo (Figura 1), tomadas a una profundidad aproximada de 50 cm para de este modo reducir las perturbaciones antrópicas y las costras salinas superficiales típicas de la región (Pittaluga M. y Suvires G., 2011; Olson S., 2009; Orive O., 2013; entre otros). Para la campaña de campo se diagramó una grilla sistemática tentativa con puntos de muestreo separados entre sí a 2 Km, también se aplicó un muestreo discrecional en sectores con características distintivas (por ejemplo cambios en la vegetación autóctona, topografía, etc.) y donde se registraron fenómenos de licuefacción histórica. Estas muestras fueron sometidas a ensayos in situ (en campo) y de laboratorio

UBICACIÓN

El Gran Mendoza es un aglomerado urbano integrado por las ciudades departamentales de: Capital, Las Heras, Guaymallén, Godoy Cruz, Maipú y Lujan. La zona de estudio se ubica inmediatamente el Oeste de dicha metrópolis, limitada al NO por la Ruta Nacional

Nº 40 y el Sur por la Ruta Nacional Nº 7; a su vez es atravesada por las Rutas Provinciales 24, 27, 28 y caminos vecinales. Comprende un área de aproximadamente 400 km^2, ocupa parcialmente los departamentos de Las Heras, Guaymallén, Godoy Cruz y Maipú e incluye las localidades de Corralitos, El Vergel, El Borbollón, Algarrobal, entre otras (Fig. 1).

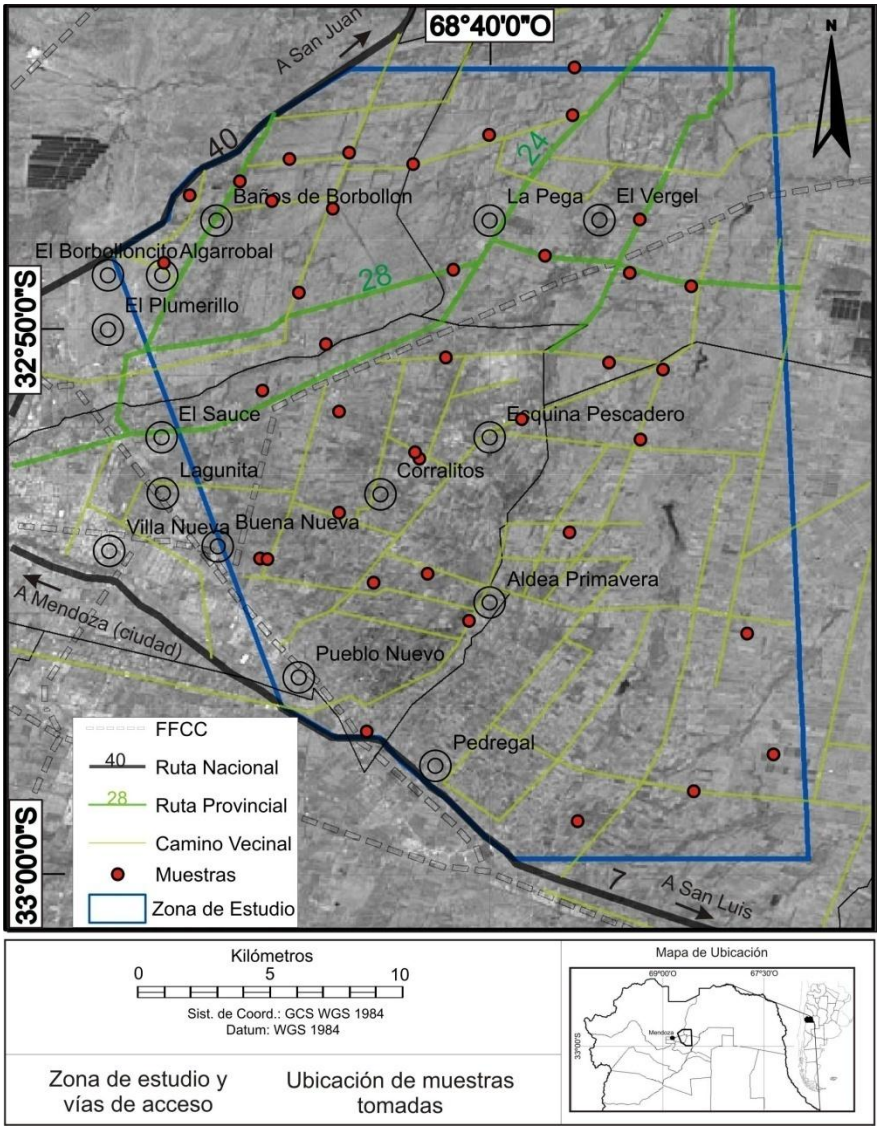


Fig. 1: Ubicación, vías de acceso de la zona de estudio y sectores de muestreo de suelo.

LICUEFACCIÓN, CONOCIENDO EL FENÓMENO

La licuefacción de suelos es la transformación de un material granular en estado sólido a líquido como consecuencia del incremento de la presión de poros (Youd T., 1984). En Argentina los procesos de licuefacción han ocasionado efectos altamente destructivos durante los grandes terremotos históricos. Sin embargo, los estudios referidos a este fenómeno son escasos, fundamentalmente debido a la pobre preservación de las estructuras (Perucca L. et al, 2006). A lo largo de los últimos 200 años se han registrado en Argentina al menos trece terremotos con características destructivas y fenómenos de licuefacción asociados (1817, 1861, 1844, 1894, 1899, 1920, 1927, 1929, 1944, 1948,

1949, 1952, 1977) que han impactado negativamente en el desarrollo y la economía de las regiones afectadas.

Conceptualmente el proceso de licuefacción funciona como un sistema, donde intervienen tres factores o elementos interrelacionados, el agua (principalmente como nivel freático), el suelo que conforma el medio, y el sismo que es el encargado de aportar la energía necesaria para el proceso (Fig. 2).



Fig. 2: Esquema representativo de los tres factores (o elementos) que intervienen en el proceso de licuefacción (Carini, 2014).

A su vez, los factores pueden dividirse en condicionantes y disparadores (Fig. 3). Los factores condicionantes engloban a las características propias de los sedimentos, el nivel freático (o agua libre cualquiera sea el origen), la existencia de estructuras sismogénicas y la historia sísmica. Los factores disparadores pueden definirse como los que proporcionan la energía necesaria para que se produzca el proceso, e incluyen las características propias de la agitación sísmica (magnitud, distancia epicentral, duración y amplificación de ondas). Para mayor información consultar Obermeier S. et al, (2005, 2009) y Seed H. (1979) entre otros.

La licuación de suelos se produce con mayor facilidad en suelos granulares sueltos a moderadamente densos con mal drenaje (como arenas limosas y arenas), y ocasionalmente en gravas cubiertas o con intercalaciones de sedimentos impermeables que obstaculicen el drenaje. La susceptibilidad a la licuefacción de la fracción fina por su parte, se verá condicionada principalmente por su plasticidad.

Durante este proceso gran cantidad de agua es expulsada y fluye hacia la superficie como resultado de un alto gradiente hidráulico, provocando la fluidización de una parte de la fracción del suelo, que será la responsable de originarlas diferentes estructuras de licuefacción, cuya tipología dependerá (entre otros aspectos) de la morfología, características sedimentarias e hidrológicas del terreno (ver ejemplos en Youd T., 1979).



Fig. 3: Principales condicionantes y disparadores de la licuefacción de suelos (Carini, 2014).

La experiencia indica que los terremotos deben tener una magnitud mínima de 5.0 (Atkinson G. et al, 1984), si bien los efectos de la licuefacción solo se manifiestan en la superficie del terreno cuando dicha magnitud excede de 5.5 (Ambraseys N., 1988). Las aceleraciones mínimas que debe sufrir el terreno para que ocurra licuefacción dependen de la duración de la sacudida y, en consecuencia, de la magnitud del evento: 0.025g para una magnitud (Mw) de 8.25 y 0.12g para Mw 5.5 (Carter y Seed H., 1988). A su vez, existe una relación directa entre la magnitud sísmica y la máxima distancia a la que se produce licuefacción (Ambraseys N., 1988; Wakamatsu K., 1991; Galli P., 2000, entre otros).

Los métodos de estudio que permiten estimar la susceptibilidad de un suelo a la licuefacción varían principalmente según los objetivos y medios disponibles. Por un lado se encuentran los denominados métodos simplificados, que estiman ciertos parámetros del suelo por medio de dispositivos más o menos sofisticados. Por otros lado se encuentran los criterios empíricos, estos poseen gran variedad de enfoques que van desde rasgos geomorfológicos, contenido de finos y plasticidad, aplicación de herramientas in situ, hasta análisis de laboratorios. Estos criterios buscan fundamentalmente alcanzar resultados satisfactorios a partir de análisis sencillos, fundamentados principalmente en datos y estudios históricos. Dentro de estos últimos se puede citar a los propuestos por Youd T. y Perkins D. (1987), Olson S. (2009), Carini F. (2014), entre otros.

ANÁLISIS DE LA LICUEFACCIÓN

Los datos obtenidos en campo y la información de las diferentes bibliografías consultadas, permitieron llevar a cabo un conjunto de clasificaciones de suelos en base a datos históricos, físicos, geotécnicos, sísmicos, geomorfológicos y geológicos, que permitieron estimar la susceptibilidad de los suelo de la zona de estudio a la licuefacción.

La susceptibilidad está referida a la mayor o menor predisposición a que un evento suceda u ocurra sobre determinado espacio geográfico, o sea la probabilidad de ocurrencia espacial, dada ciertas condiciones geoambientales. No considera la probabilidad temporal del evento (cuándo o qué frecuente la licuación ocurre), ni la magnitud esperada del mismo (cuán destructivo será el evento). Una alta susceptibilidad

para una zona, no implica necesariamente que ante un evento sísmico los suelos se licuen, sino que indica que se reúnen las condiciones propicias para que tenga lugar el proceso. Según Ayala – Carcedo F. (1990) los mapas de susceptibilidad responden a una necesidad, en este caso, la de evaluar la propensión de los suelos a licuarse.

La multiplicidad de métodos existentes demuestra que aún no existe alguno totalmente satisfactorio y abarcativo para todas las situaciones naturales. A continuación se realiza una pequeña reseña de los utilizados en el presente trabajo.

El **criterio histórico** brinda evidencia directa de la ocurrencia del fenómeno en una región, permitiendo zonificar sectores históricamente afectados y enumerando los distintos tipos de fallas de terreno (Fig. 5.a). Según mencionan Kramer S. y Stewart J. (2004), la licuefacción ocurre frecuentemente en los mismos lugares cuando las condiciones del sitio se mantienen constantes, es por esto que la evidencia de ocurrencia de histórica del fenómeno puede ser utilizada como prueba de susceptibilidad a la licuefacción para un determinado lugar. Sin embargo no siempre se cuenta con la información necesaria de todas las variables, por ejemplo situación del nivel freático al momento del fenómeno, y el conocimiento real de la magnitud y distribución de los efectos, ya que dependerá de la existencia de testigos visuales y documentación de los hechos.

Fecha	Epicentro	Magnitud	Intensidad	Daños	Evidencias de Licuefacción	Distancia máxima de evidencias (a)
20/03/1861	Mendoza	7.2	IX - X	Destrucción total, víctimas fatales >12000	Fracturas, surgencias, volcanes de arena, despl. laterales (?)	104 Km
27/10/1894	Norte de San Juan	7.8	X	Destruccion y centenares de victimas fatales	Fracturas, surgencias, volcanes de arena, oscilaciones del terreno (?), asentamientos	250 Km (b)
12/08/1903	Uspallata	6.3	VII	Destrucción de infraestructura	Fracturas y surgencias	57 Km
26/07/1917	Panquehua	6.5	VII		Fracturas, surgencias, volcanes de arena	3 Km
17/12/1920	Central - Costa de Araujo	6.8	X	Destrucción de infraestructura, víctimas fatales > 250	Fracturas, surgencias, volcanes de arena, oscilaciones del terreno (?), asentamientos	60 Km
14/04/1927	Uspallata	7.1	VIII	Daños de infraestructura, víctimas fatales = 3	Fracturas, surgencias, volcanes de arena (?)	60 Km
30/04/1929	Villa Atuel - Las Malvinas	6.5	VIII	Destrucción de viviendas, bodegas, vías férreas, víctimas fatales 40 (aprox)	Fracturas, surgencias, volcanes de arena, oscilaciones del terreno (?), asentamientos	35 Km
23/11/1977	Caucete	7.4	IX	Destrucción de infraestructura, víctimas fatales > 65	Fracturas, surgencias, volcanes de arena, oscilaciones del terreno (?), asentamientos, desplazamientos laterales (?), flotación (?)	260 Km

Fig. 4: Recopilación de sismos históricos con licuefacción asociada en la región de estudio. Fuente especificada en el texto. (a) Distancias tomadas de Perucca L. y Moreiras S. (2006) y (b) Pérez I. y Costa C. (2012).

El conocimiento del **nivel freático** es de gran importancia en este tipo de análisis. Las variaciones locales estacionales e incluso diarias y la falta de difusión pública de datos actualizados, dificultan alcanzar conclusiones definitivas (Carini F., 2014). No obstante con la información disponible se puede zonificar las zonas más susceptibles en relación a la posición frecuente del nivel freático (Fig. 6.b).

Profundidad del Nivel Freático (metros)	Susceptibilidad
0-1,5	Muy Alta
1,5-2,5	Alta
2,5-4	Moderada
4-10	Baja
>10	Muy baja o Nula

Fig. 5: Tabla estimativa de la susceptibilidad de los suelos a la licuefacción según el nivel freático. Modificado de Obermeier S. (1994, 1998, 2009), Youd T. (1984), Youd T. y Perkins D. (1978), Carini F. (2014).

El **criterio geológico** (Youd T. y Perkins D., 1978) es ampliamente utilizado en mapeos regionales en distintas partes del mundo, ya que brinda una información relativamente confiable a partir de datos geológicos y geomorfológicos básicos. En la zona de estudio no existen hasta la actualidad mapeos detallados, no obstante se generó un mapa de semi-detalle para que permita dar una idea de la susceptibilidad al proceso, mediante el reconocimiento de diferentes elementos geomorfológicos (Fig. 6.c). La escala de trabajo es una variante importante, ya que a mayor detalle, mejor se discriminan los elementos geomorfológicos y por lo tanto se alcanzan estimaciones de susceptibilidad más ajustadas.

Olson S. (2009) desarrolló un método de análisis específicamente para estimar en campo la susceptibilidad de los suelos a la licuación (Fig. 6.d). Esta clasificación analiza características físicas, y, mediante ensayos simples, permite inferir la respuesta de un suelo ante una sacudida sísmica. Considera a la plasticidad de los finos como uno de los indicadores más importantes a la hora de estimar el comportamiento del suelo.

El método heurístico denominado **Multivariable** (Carini F., 2014), es un método empírico utilizado para estimar la susceptibilidad a la licuefacción de un suelo, que puede llevarse a cabo por dos mecanismos que consisten en un sistema de puntaje que clasifica al suelo en base a su susceptibilidad a la licuefacción. Permite adaptar los resultados a distintos objetivos, siendo posible clasificaciones solo del **factor suelo** (Suelo – Agua), corregido o no por **edad**, y/o del **factor suelo en relación a un eventos sísmico o estructura determinada** (Suelo – Agua – Sismo/Estructura).

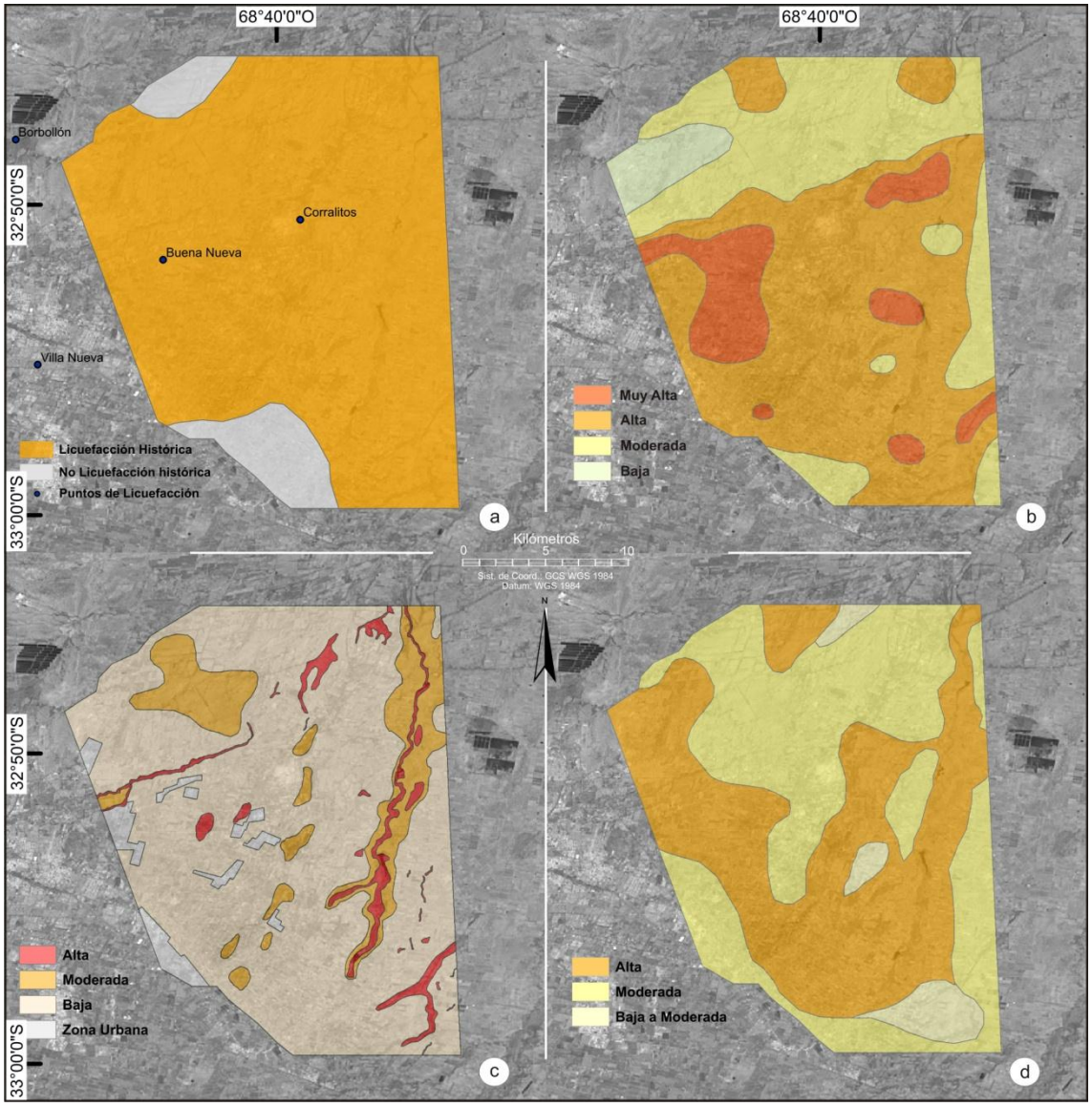


Figura 6: Mapas de susceptibilidad de suelos a la licuefaccion utilizando diferentes criterios y métodos. a) Criterio Historico (Kramer S. y Stewart J., 2004); b) Susceptibilidad según el nivel freatico (Carini F., 2014); c) Criterio geológico (Youd T. y Perkins D., 1978); d) Criterio de Olson (2009).

Esta clasificación no solo puede clasificar un suelo, sino que también permite estimar el comportamiento del mismo ante un determinado evento sísmico, o relacionarlo a una estructura sismogénica determinada. Y a diferencia de otros métodos (como el de Seed R. et al., 2003; Olson S., 2009 entre otros), que solo analizan el suelo aisladamente, involucra otras variables que permiten contextualizar el análisis y arroja la *susceptibilidad del medio* en un marco de múltiples factores (Fig. 7).

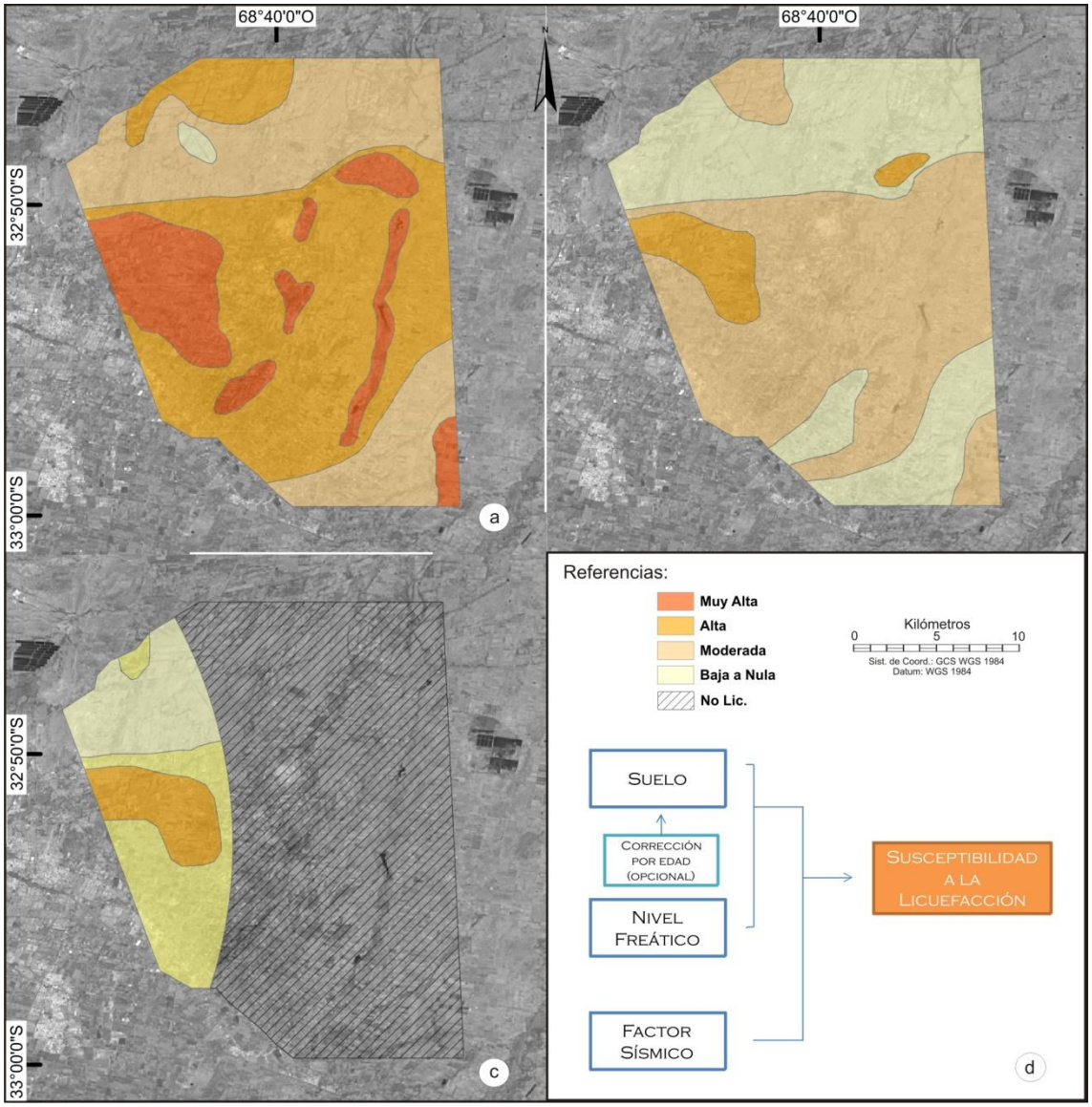


Fig. 7: Mapas de susceptibilidad a la licuefaccion utilizando el metodo heurístico multivariable (Carini F., 2014). a) Susceptibilidad para un sismo de magnitud 7 (Mw) asociado a la falla Barda Negra (40 Km al NNO); b) Susceptibilidad para un sismo de magnitud 7.5 (Mw) asociado a la falla El Tigre (250 Km al NNO); c); Susceptibilidad para un sismo de magnitud 5.8 (Mw) asociado a la Divisadero Largo (25 Km al O) d) Diagrama esquematico de las variables consideradas en el metodo aplicado.

DISCUSIONES

El fenómeno de licuefacción puede considerarse como un sistema en el que intervienen e interrelacionan principalmente tres elementos o factores, que conforman los condicionantes (aquellos que componen el medio, como el Suelo y el Agua) y disparadores (la energía sísmica, que aportan la energía al sistema) del proceso. Esta interacción puede producir una transformación reversible de un suelo en estado sólido, compuesto por material granular saturado, a uno líquido, debido al aumento de la presión de poros durante una sacudida del terreno; ocasionando, bajo ciertas condiciones, importantes fallas del terreno.

Los eventos históricos de licuación de suelos en la región demuestran la alta susceptibilidad al proceso. Sin embargo no siempre se cuenta con la información necesaria de todas las variables, por ejemplo situación del nivel freático al momento del fenómeno, y el conocimiento real de la magnitud y distribución de los efectos, ya que dependerá de la existencia de testigos visuales y documentación de los hechos. Los documentos históricos indican que los procesos de licuefacción generalmente han afectado depósitos no cohesivos del Pleistoceno-Holoceno de origen fluvial, fluvio-lacustre y barreal, principalmente constituidos por arenas con granulometría media a fina de baja permeabilidad y suelos Limosos, dentro de un ambiente de playa y llanura aluvial del Río Mendoza. A su vez, la mínima Magnitud sísmica que produjo licuefacción fue de 6.3 Ms (1903), aunque este dato se ve sujeto a variables como la distancia y condiciones locales durante el evento (Carini F., 2014).

La gran capacidad sismogeneradora de las estructuras de la región (>7 M) exponen la zona de estudio a una alta peligrosidad sísmica, incrementada a su vez por la presencia de estructuras cercanas, que con sismos de 6 M podrían ocasionar importantes fallas en el terreno.

Existe una relación directa entre la magnitud de un sismo y la distancia, desde el epicentro, a la cual se produce licuefacción. Esta última se denominó MDL (Máxima Distancia de Licuefacción) y, en base a casos históricos, se observó que las mismas sobrepasan ampliamente a las de otras regiones del planeta (por ejemplo >250 Km para el sismos de magnitud 7.4 en 1977), sobre todo en un notable sentido latitudinal. Perucca L. y Moreiras S. (2006), propusieron para sismos de Mendoza y San Juan la relación empírica Magnitud – MDL de Papadopulos G. y Lefkopulos G. (1993), pero según Carini F y Cisneros H. (2014), ésta no se ajusta correctamente a la región, ya que no involucra a la totalidad de los eventos históricos (excluye a los de 1894 y 1977), y proponen como adecuada la formula logarítmica de Wakamatsu K. (1991) adaptada, que genera una envolvente que contiene a la totalidad de los eventos históricos, al admitir mayores MDL. Esto demostraría que las condiciones del sustrato inciden directamente en la distancia a la cual se puede producir la licuefacción para distintas partes del planeta, y por lo tanto se debe buscar (o elaborar) la que mejor se ajuste a las condiciones locales.

Con los datos obtenidos en campo y la información recabada de las diferentes bibliografías se realizó un conjunto de clasificaciones de suelos en base a datos físicos, históricos, geotécnicos, sísmicos, geomorfológicos y geológicos, que permitieron estimar la susceptibilidad de los suelo de la zona de estudio a la licuefacción. Estos análisis responden a una gran variedad de factores, medios y necesidades. Su multiplicidad demuestra que no aun existe alguno totalmente satisfactorio y abarcativo para todas las, tan variables, situaciones naturales. El *método heurístico Multivariable* (Carini F., 2014) demostró adaptarse a la información y medios disponibles. Reúne varios métodos (de otros autores) y variables, sin relegar simpleza y aplicabilidad en campo. Permite a su vez contextualiza el análisis, estimando la *susceptibilidad del medio* en un marco de múltiples factores (suelo, freática y estructuras sismogénicas/sismos), por lo que se lo considera adecuado para su utilización en estudios preliminares de reconocimiento general.

En la República Argentina el estudio de la licuefacción se encuentra muy subestimado, los únicos trabajos que tratan la temática lo hacen desde un punto de vista histórico o geomorfológico a escala regional, con escasos datos directos de campo. En este contexto el presente trabajo pretende contribuir a un avance en el conocimiento del proceso y de cómo éste puede afectar a la región y puntualmente a la zona de estudio. La metodología seleccionada se considera adecuada para los objetivos, medios disponibles (económicos) y el estado actual del conocimiento del fenómeno para la región. No obstante se recomienda que los futuros estudios apliquen técnicas más precisas para la obtención de datos. En este sentido se sugiere realizar campañas aplicando métodos de auscultación profunda (al menos a 3 metros de profundidad con penetrómetros estáticos y/o dinámicos), con el fin de determinar la susceptibilidad de estratos subterráneos capaces de generar fallas de terreno. Paralelamente se debería crear un ente de control, regulación y acopio de datos geotécnicos (ejemplo SPT) privados, para de esta manera densificar la grilla de datos. Otro aspecto importante seria profundizar el conocimiento de la geomorfología - sedimentología local, de modo que sea posible discriminar unidades según tipo y edad. Esto permitirá, junto a los ensayos de auscultación mencionados, conocer con mayor detalle la distribución de los sedimentos y sus características geotecnias (puntuales y/o de unidades geomorfológicas generales). Es necesario a su vez, densificar la red de freatímetros, con una actualización en tiempo real de los niveles del acuífero libre.

Si bien es posible generar mapas de susceptibilidad y riesgo, que permitan conocer las condiciones del terreno, la constante variación de las factores (a acepción del suelo que se mantiene constante, salvo futuros rellenos artificiales) y la acelerada expansión urbana, presentan la necesidad de generar sistemas de información geográfica (SIG) que permitan conocer instantáneamente el estado de las variables. Estos SIG serían una herramienta sumamente importante para monitorear la zona, en base a una plataforma virtual de datos actualizados, siendo de suma importancia para la correcta planificación urbana y como administradora eficiente de los sistemas de emergencia ante el eventual desarrollo del proceso.

La importante y rápida expansión poblacional, asentándose sobre terrenos en ocasiones rellenados sobre humedales y ciénagas, con baja capacidad portante y niveles freáticos cercanos a la superficie, ha aumentado considerablemente la vulnerabilidad debido principalmente a la falta de políticas claras y eficientes de planificación urbana.

Los resultados del presente trabajo demuestran claramente los numerosos factores de riesgo que condicionan la alta susceptibilidad general de los suelos a la licuefacción para la zona de estudio, sin embargo representa solo un pequeño paso hacia el conocimiento real y profundo del fenómeno, por lo que se recomienda continuar con los estudios. Se considera además que las herramientas más importantes para mitigar sus efectos en el ámbito humano son: el conocimiento profundo y monitoreo de los factores, la planificación urbana y la aplicación efectiva de las Normas Argentinas para Construcciones Sismorresistentes (Reglamento INPRES-CIRSOC 103, 2013).

CONCLUSIONES GENERALES

A continuación se destacan solo algunos de los puntos más relevantes.

- Los suelos de la zona de estudio son altamente susceptibles a la licuefacción.
- La licuación de suelos es esencialmente la transformación reversible de un material granular solido y saturado, a uno líquido, debido al aumento de la presión de poros durante una sacudida del terreno.
- La licuefacción se produce con mayor facilidad en suelos granulares sueltos a moderadamente densos con mal drenaje (como arenas limosas y arenas), y ocasionalmente en grabas cubiertas o con intercalaciones de sedimentos impermeables que obstaculicen el drenaje.
- La susceptibilidad de la fracción fina se verá condicionada principalmente por su plasticidad.
- Las diferentes estructuras de licuefacción dependerán (entre otros aspectos) de la morfología, características sedimentarias e hidrológicas del terreno.
- Existen numerosos registros históricos de licuefacción histórica en la zona de estudio y región.
- Los documentos históricos indican que los procesos de licuefacción generalmente han afectado depósitos no cohesivos del Pleistoceno-Holoceno de origen fluvial, fluvio-lacustre y barreal, principalmente constituidos por arenas con granulometría media a fina con baja permeabilidad, dentro de un ambiente de playa y llanura aluvial del Río Mendoza. Por otra parte la mínima Magnitud que produjo licuefacción fue de 6.3 Ms (1903), aunque esta observación se ve sujeta a variables como la distancias y condiciones locales.
- Los métodos analizados responden a una gran variedad de factores, medios y necesidades, su multiplicidad demuestra que no aun existe alguno totalmente satisfactorio y abarcativo para todas las, tan variables, situaciones naturales.
- El *método heurístico Multivariable* propuesto por Carini F. (2014) demostró adaptarse a la información y medios disponibles. Reúne varios métodos y variables sin relegar simpleza, y aplicabilidad en campo. Contextualiza el análisis, estimando la *susceptibilidad del medio* en un marco de múltiples factores.

REFERENCIAS

Ambraseys, N. N., 1988. *Engineering Seismology, Earthquake Engineering and Structural Dynamics, vol. 17. Elsevier, Ámsterdam,* pp. 1 – 105.

Atkinson, G., 1984. *Simple computation of liquefaction probability for seismic hazard applications. Earthquake Spectra*, 1 (1): 107-123.

Ayala-Carcedo, F.J., 1990. Análisis de los conceptos fundamentales de riesgos y su aplicación a la definición de tipos de mapas de riesgos. Bol. Geol. y Minero. ITGE, Madrid, Vol. 101-3, 108-118.

Carini F. D. y Cisneros H., 2014. Revisión de procesos de licuefacción histórica en las provincias de san Juan y Mendoza. Propuestas metodológicas. Este congreso.

Carini F. D., 2014. Análisis de la Susceptibilidad de Licuefacción de Suelos por Eventos Sísmicos y su Relación con Estructuras Cuaternarias en el Gran Mendoza. Tesina de grado. Universidad Nacional de San Luis. Inédito. 180 p

Galli P., 2000. *New empirical relationships between magnitude and distance for liquefaction, Tectonophysics*, 324, 169-187.

INPRES-CIRSOC 103, 2013. Reglamento Argentino Para Construcciones Sismorresistentes. Parte 1, Construcciones en general. Consulta web.

Kramer, S. L. y Stewart, J. P., 2004. *Geotechnical Aspects of Seismic Hazards in Earthquake Engineering: From Engineering Seismology to Performance-Based Engineering, Y. Bozorgnia and V.V. Bertero (editores), CRC Press*, 85 pag.

Obermeier S. F., 1998. *Liquefaction evidence for strong earthquakes of Holocene and latest Pleistocene ages in the states of Indiana and Illinois, U.S.A., US Geol. Surv., MS 955, 12201 Sunrise Valley Drive, Reston, VI 2*0192, U.S.A.

Obermeier, S. F., 1994. *Using liquefaction-induced features for paleoseismic analysis. En: Using ground-failure features for paleoseismic analysis (Ed. Obermeier, S. y Jibson, W.) Geological Survey Open-File Report*, 94-633: A1-A98.

Obermeier, S. F., 2009. *Using liquefaction-induced and other soft-sediment features for Paleoseismic Analysis. Paleoseismology, 2ª* Ed. McCalpin, J.P.(ed). San Diego, California, Academic Press, 7:497-564 p.

Obermeier, S. F., Olson, S. y Green, R. 2005. *Field occurrences of liquefaction-induced features: a primer for engineering geologic analysis of paleoseismic shaking. Engineering Geology* 76: 209-234.

Olson S. M., 2009. *Field Evaluation of Liquefaction Susceptibility of Soils with High Fines Content. En: McCalpin*, J. (ed), 2009. Paleoseismology, 2nd Edition. Academic Press, 848p.

Orive O., 2013. Susceptibilidad de los suelos del departamento Lavalle, Mendoza, al fenómeno de licuefacción, como factor para el análisis del Peligro Sísmico local. Tesina de Licenciatura. Universidad Nacional de San Luis. Inédito. 225p.

Papadopulos, G. A. y Lefkopulos, G., 1993. *Magnitude-distance relations for liquefaction in soil from earthquakes. Bulletin, Seismological Society of America* 83, 925–938.

Pérez I. y Costa C., 2012. Fenómenos secundarios inducidos por el terremoto de 1894, su aplicación en la determinación de la magnitud del evento. XV Reunión de tectónica, San Juan Argentina. Actas: 116-117 p.

Perucca L., Pérez A. y Navarro C., 2006. Fenómenos de licuefacción asociados a terremotos históricos. Su análisis en la evaluación del peligro sísmico en la argentina. Revista de la Asociación Geológica Argentina 61 (4): 567-578.

Perucca, L. y Moreiras, S. 2006. *Liquefaction phenomena associated with historical earthquakes in San Juan and Mendoza Provinces*, Argentina. Quaternary Internacional, 158:96-109.

Pittaluga M. A. y Suvires G. M., 2011. Susceptibilidad Ambiental a la Licuefacción de Suelos en el Oasis Productivo de Zonda, Provincia de San Juan, Argentina. E-Ices 7, Trabajos completos. 273 – 281p.

Seed, H. B., 1979. *Soil liquefaction and cyclic mobility for level ground during earthquakes. ASCE Journal of Geotechnical Engineering* 105 (2), 201– 255 p.

Seed, R. B., Cetin, K. O., Moss, R. E. S., Kammere, A. M., Wu, J., Pestana, J. M. y Reimer, F. M., 2003. *Proceedings: Fourth international conference on recent advances in geotechnical earthquake engineering and soil dynamics and symposium in honor of professor W. D. Finn*. San Diego, California.

Wakamatsu, K., 1991. *Maps for Historic Liquefaction Sites in Japan, Tokai* Univ. Press, Tokyo.

Youd, T. L. y Perkins, D. M., 1978. *Mapping liquefaction-induced ground failure potential. ASCE Journal of Geotechnical Engineering Division* 104 (4), 433– 446 p.

Youd, T. L., 1984. *Geologic effects - Liquefaction and associated ground failure*. Open-File Report 84-760 (U.S. Geological Survey). 210– 232 p.

HIDROGEOQUÍMICA DE LAS LENTES DE AGUA DULCE DEL LITORAL DE LA BAHÍA SAMBOROMBÓN, LOCALIDAD DE CERRO DE LA GLORIA (BUENOS AIRES)

Carol E. [a,b] *y García L.* [a,c]

[a]*Cátedra de Hidrología General de la Facultad de Ciencias Naturales y Musea, FCNyM, Universidad Nacional de La Plata, ARGENTINA*
[b]*Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas, CONICET, ARGENTINA*
[c] *Agencia Nacional de Promoción Científica y Tecnológica, ARGENTINA*

e-mail: *eleocarol@fcnym.unlp.edu.ar*

RESUMEN

El litoral de la Bahía Samborombón (Buenos Aires) se desarrolla en un ambiente de planicie costera donde existe un predominio de agua superficial y subterránea salina. La única fuente de agua apta para consumo humano de la región se asocia a la presencia de lentes de agua dulce que se alojan en cordones de conchilla (zonas de recarga con morfología positiva y alta permeabilidad) dentro de la planicie costera. El objetivo del trabajo es evaluar los procesos que condicionan la calidad química del agua subterránea en las lentes de agua dulce que se utilizan para abastecimiento en la localidad de Cerro de la Gloria. Una evaluación de los procesos que regulan la calidad del agua se realizó a partir del análisis de los datos químicos del agua subterránea en función de las fases minerales que componen al acuífero. Los resultados obtenidos evidencian que la infiltración del agua de lluvia disuelve el $CO_{2(g)}$ atmosférico y del suelo dando lugar a la formación de iones HCO_3^- y a la disolución de los carbonatos (valvas y concreciones). Los contenidos de fluoruros y arsénico provienen de la alteración del vidrio volcánico contenido en los sedimentos, el cual comienza a disolverse a medida que el agua subterránea alcanza valores de pH levemente alcalinos. Por su parte, en la evolución geoquímica del agua, el aumento del pH y la sobresaturación en iones Ca^{+2} producen la re-precipitación de carbonato de calcio y una consecuente disminución de la dureza del agua. Esta disminución en iones Ca^{+2} hace que el Na^+ pase a ser el catión dominante lo que determina un predominio de facies bicarbonatadas sódicas. Debido a la escasez de agua potable en la región, comprender los procesos que regulan su calidad es de vital importancia para gestionar el manejo sustentable de estos recursos.

INTRODUCCIÓN

Las relaciones iónicas constituyen una herramienta de importancia para explicar los procesos geoquímicos que determinan la composición del agua en ambientes hidrogeológicos costeros. Los estudios hidrogeoquímicos permiten determinar las reacciones derivadas de la interacción agua – sedimento (disolución – precipitación, oxidación – reducción de minerales, intercambio iónico), establecer posibles mezclas de aguas (intrusión marina, aporte desde distintos acuíferos), definir fuentes y procesos de contaminación, etc. (Gimenez y Morrel 1997, Jorgensen 2002, Marimuthu, et al. 2005, de Montety et al. 2008).
El litoral de la Bahía Samborombón (Buenos Aires) se desarrolla en un ambiente de planicie costera donde existe un predominio de agua superficial y subterránea salina. La única fuente de agua apta para consumo humano de la región se asocia a la presencia de lentes de agua dulce

que se alojan en cordones de conchilla dentro de la planicie costera (Sala el tal. 1978, Carol et al., 2012).
La planicie costera se deposita en el sector litoral sobre un sustrato loéssico volcánico que aflora en los sectores más continentales. Los cordones de conchilla se desarrollan paralelos a la línea de costa desde el centro de la bahía hacia el norte. Son geoformas de relieve positivas con cotas que varían entre (6 y 17 m snm) compuestos por restos sueltos de conchillas marinas que alternan en sectores con capas de arenas y arcillas. La mineralogía de estos sedimentos está dominada principalmente por carbonatos (valvas y concreciones), cuarzo, feldespato de tipo plagioclasa básica y vidrio volcánico, estos últimos procedentes del retrabajo del sustrato loéssico subyacente durante la depositación (Carol et al. 2013). La alta permeabilidad de los cordones favorece la infiltración del agua de lluvia que se acumula en forma de lentes de agua dulce. La escasez de agua dulce en la región es una de las principales limitantes para el desarrollo poblacional, siendo la localidad de Cerro de la Gloria (con cerca de 200 habitantes estables) uno de los pocos poblados que se desarrolla en el litoral de la bahía (ver Fig. 1). El objetivo del trabajo es evaluar los procesos que condicionan la calidad química del agua subterránea en las lentes de agua dulce que se utilizan para abastecimiento en dicha localidad.

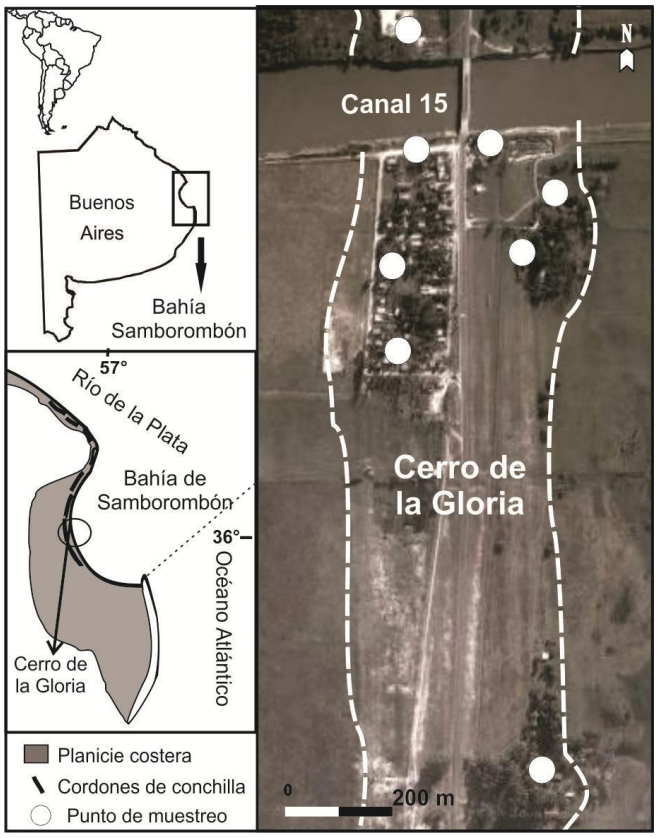


Figura 1: Ubicación del área de estudio. En línea blanca punteada se indica el límite del cordón de conchilla sobre el cual se asienta el pueblo.

METODOLOGÍA

La calidad del agua subterránea se evaluó a partir de análisis químicos en muestras obtenidas en pozos de exploración someros y de abastecimiento (molinos y bombeadores domiciliarios). Los análisis químicos cuentan con determinaciones de pH, sólidos totales disueltos, cloruros,

sulfatos, bicarbonatos, carbonatos, dureza, nitratos, calcio, magnesio, sodio, potasio, fluoruros y arsénico.

La recolección, preservación y análisis químico de las muestras de agua fueron realizadas según los métodos establecidos por la American Public Health Association (APHA 1998). El sodio (Na^+) y potasio (K^+) se determinaron utilizando fotometría de llama. La dureza como carbonato de calcio ($CaCO_3$), calcio (Ca^{2+}), carbonato (CO_3^{2-}), bicarbonato (HCO_3^-) y cloruro (Cl^-) fueron determinados por métodos volumétricos. El magnesio (Mg^{2+}) se calculó a partir de los datos de dureza total y calcio. El sulfato (SO_4^{2-}) fue medido por nefelometría, los nitratos por espectrofotometría, fluoruros por electrodo selectivo, arsénico por dietilditrocarbamato de plata y la cantidad de sólidos totales disueltos o salinidad (STD) fue determinada por gravimetría. La conductividad eléctrica y el pH se determinaron en el campo inmediatamente después de la recolección de la muestra utilizando un equipo portátil.

Los datos correspondientes a los iones mayoritarios se utilizaron para caracterizar el tipo de agua presente en los acuíferos a partir de diagramas de Piper (Piper 1944). Un análisis de las variaciones en la concentración de fluoruros y arsénico en función del pH y dureza se efectuó en base a diagramas bivariantes.

RESULTADOS

Los cordones conchiles integran una unidad hidrogeológica de mediana a alta permeabilidad, en los cuales se forman lentes de agua dulce sobre el acuífero salino de la llanura de marea producto de la rápida infiltración del agua de lluvia. Constituyen zonas de recarga preferencial con flujo subterráneo desde las cresta de los cordones hacia la llanura de marea y marisma adyacentes. La profundidad del nivel freático es cercana a 1 m en los periodos lluviosos y aumenta a 3 m en los periodos secos. El agua en estas lentes es predominantemente bicarbonatada sódica registrándose sólo una muestra de tipo bicarbonatada cálcica (ver Fig. 2).

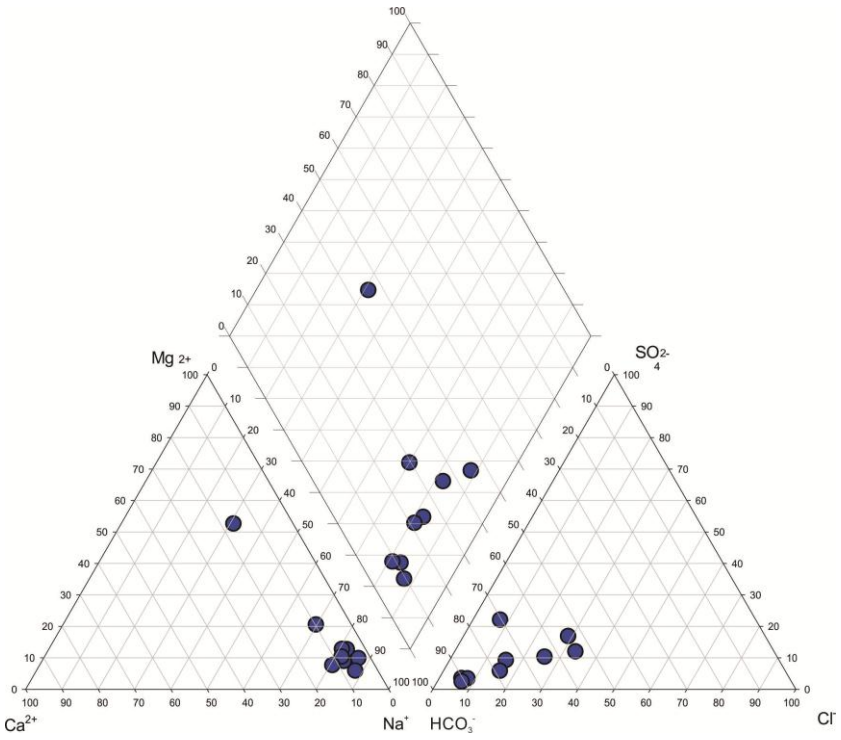


Figura 2: Diagrama de clasificación de aguas (Piper 1944).

La salinidad es baja (inferiores a 1500 mg/L) a excepción de una que registra valores de 2400 mg/L, observándose en el conjunto de muestras una tendencia al aumento de la salinidad asociado principalmente a un aumento en la concentración de cloruros y sulfatos (ver Fig. 3a y b). Los valores de alcalinidad oscilan entre 265 y 840 mg/L presentando la mayoría de las muestras valores por debajo de 450 mg/L. La dureza alcanza valores de hasta 728 mg/L mostrando una disminución a medida que el pH aumenta de 7,4 a 8,6 (ver Fig. 3c). Las concentraciones de nitratos en todos los casos son bajas con valores que varían entre 1 y 8 mg/L (ver Fig. 3d).

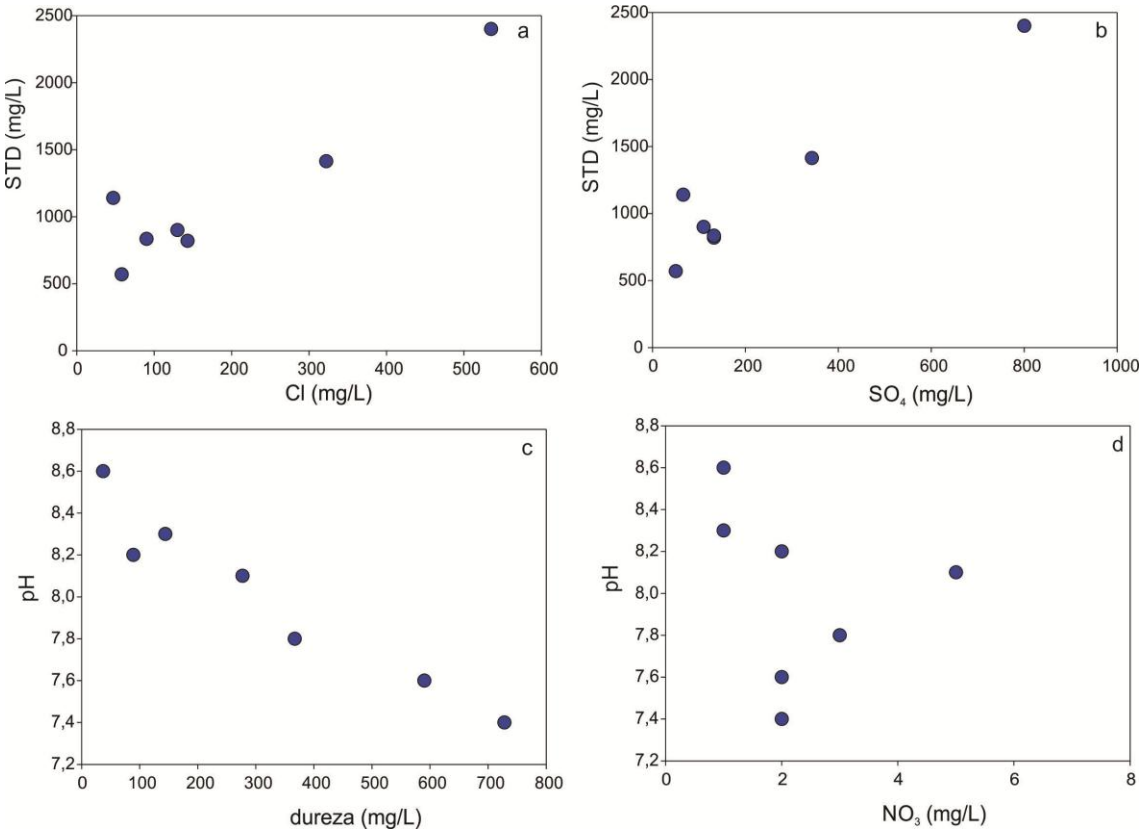


Figura 3: relación entre el contenido de salinidad, pH y aniones en el agua subterránea de los cordones de conchilla.

El contenido de arsénico en función de fluoruro muestra que existe una fuerte correlación positiva (r^2=0,91) entre ambos iones (ver Fig. 4). La calidad del agua en relación a estos iones según el Código Alimentario Argentino (CAA, 2007) es en la mayoría de las muestra buena, registrándose sólo dos muestras por encima del límite de potabilidad de arsénico (0,05 mg/L) y de fluoruros (1,5 mg/L). No obstante si se considera el valor orientativo para arsénico de 0,01 mg/L dado por la Organización Mundial de la Salud (OMS, 2004) se observa que el 70% de las muestras está por encima de este valor.

El relación al pH se aprecia que tanto fluoruro como arsénico tienden a aumentar sus concentraciones a valores de pH más alcalinos (ver Fig. 5a y b). Un comportamiento inverso se registra en relación a la dureza en donde las mayores concentraciones de fluoruro y arsénico coinciden con los valores de dureza más bajos (ver Fig, 5c y d).

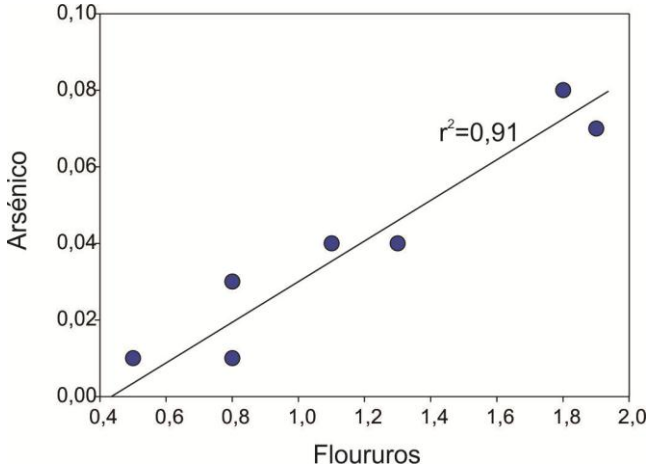


Figura 4: relación entre el contenido de arsénico y fluoruros en el agua subterránea de los cordones de conchilla.

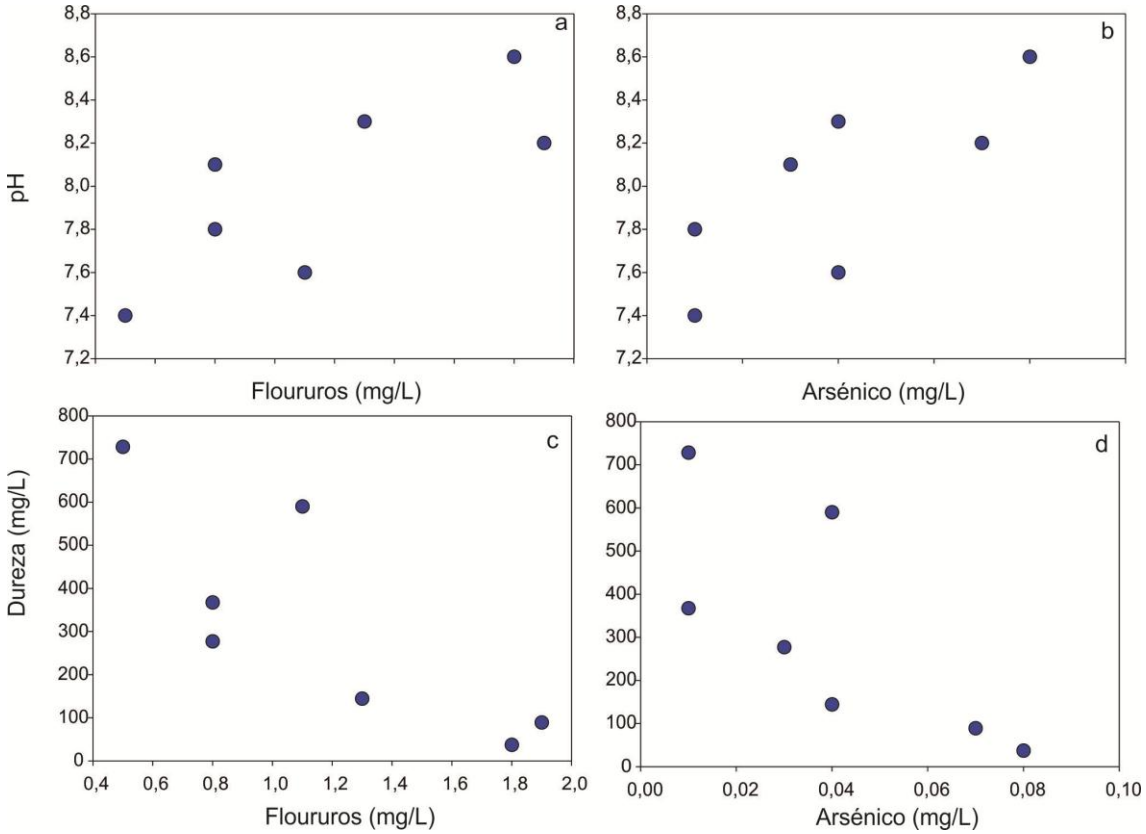


Figura 5: relación entre el contenido de alcalinidad, pH y dureza en función de arsénico y fluoruros en el agua subterránea de los cordones de conchilla.

DISCUSIÓN

En los acuíferos freáticos de escasa extensión areal, como en el caso estudiado, la mayoría de los iones disueltos en el agua son adquiridos durante la infiltración de la lluvia en la zona no

saturada (ZNS). Esto se debe principalmente a que el agua de lluvia reacciona con el $CO_{2(g)}$ de la atmósfera y de los poros del sedimento generando HCO_3^- y H^+; este último le otorga acidez al agua, la cual ataca a los minerales, en especial a las fases carbonatadas. La disolución de carbonatos disminuye la acidez, la cual en la ZNS es recuperada por la disolución de más $CO_{2(g)}$ principalmente generado por las raíces y descomposición de materia orgánica del suelo y secundariamente por la atmósfera. Cuando el agua alcanza la superficie freática y se incorpora al flujo subterráneo a medida que la disolución de carbonatos consume H^+ y $CO_{2(g)}$ pierde acidez por no poder incorporar $CO_{2(g)}$ al sistema y disminuye su capacidad de disolver y alterar minerales (Hem, 1985, Appelo y Postma, 2005). De esta manera cuando infiltra el agua de lluvia disuelve las valvas y concreciones carbonáticas ocasionando valores elevados de dureza en el agua. Con el flujo subterráneo el agua tiende a aumentar su pH y en consecuencia ocurre la re-precipitación de carbonatos, formando agregados en la matriz o concreciones en los sedimentos. Este proceso explica la tendencia que se observa en la dureza, la cual tiende a disminuir a medida que el pH se hace más alcalino. Estudios de suelos realizados en los cordones de conchilla muestran que en las zonas afectadas por la oscilación del nivel freático la re-precipitación de carbonatos es un proceso común en este ambiente (Imbellone y Giménez 1997). Luego, la re- precipitación del Ca^{+2} determina una disminución de estos iones en solución pasando el Na^+ a ser el catión dominante lo que produce que exista un predominio de facies bicarbonatas sódicas.

Por su parte, los contenidos de fluoruros y arsénico en el agua subterránea provienen de la alteración del vidrio volcánico contenido tanto en los sedimentos volcánicos que subyacen a los cordones de conchilla (Tricart 1973) y como en el material loessico re trabajado presente en los cordones. El vidrio volcánico comienza a disolverse a medida que el agua subterránea alcanza valores de pH levemente alcalinos, ocurriendo una mayor disolución a medida que aumenta el pH (Viswanathan et al., 2009). Este comportamiento explica la correlación positiva observada entre el pH y las concentraciones de arsénico y fluoruro.

Por último, los procesos de evaporación también son relevantes en los acuíferos freáticos, dada su conexión a través de la ZNS con la atmósfera, principalmente en aquellos poco profundos. Ellos son los responsables del aumento observado en la concentración de sales y en el contenido de cloruros y sulfatos en el agua subterránea tal como ha sido observado en otras áreas de la bahía (Carol et al., 2013).

CONCLUSIONES

Los procesos hidrogeoquímicos que regulan la calidad del agua subterránea en las lentes de agua dulce de los cordones de conchilla dependen en gran parte de la interacción agua – sedimentos. Al infiltrar el agua de las lluvias disuelve el $CO_{2(g)}$ atmosférico y del suelo dando lugar a la formación de iones HCO_3^- y a la disolución de los carbonatos (valvas y concreciones) principalmente en la ZNS. En la evolución geoquímica del agua en la zona saturada ocurre un aumento del pH que produce la re-precipitación del carbonato de calcio y una consecuente disminución de la dureza del agua. Esta disminución en iones Ca^{+2} hace que el Na^+ pase a ser el catión dominante lo que determina un predominio de facies bicarbonatadas sódicas.

Por su parte, los contenidos de fluoruros y arsénico provienen de la alteración del vidrio volcánico contenido en los sedimentos, el cual comienza a disolverse a medida que el agua subterránea alcanza valores de pH levemente alcalinos. Asimismo, los procesos de evaporación son los responsables del aumento observado en la concentración de sales y en el contenido de cloruros y sulfatos.

Debido a la escasez de agua potable en la región, comprender los procesos que regulan su calidad es de vital importancia para gestionar el manejo sustentable de los recursos hídricos.

AGRADECIMIENTOS

Los autores del trabajo quieren agradecer al Servicio Provincial de Agua Potable y Saneamiento Rural (SPAR) de la Provincia de Buenos Aires por los datos químicos y perfiles de pozos aportados.

REFERENCIAS

Appelo, C., Postma, D., 2005. *Geochemistry, Groundwater and Pollution, second ed*. Balkema Publishers.

APHA (American Public Health Association). 1998. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 20th ed*. American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environment Federation, Washington, DC.

Carol, E., Kruse, E. 2012. Hydrochemical characterization of the water resources in the coastal environments of the outer Río de la Plata estuary, Argentina. *Journal of South American Earth Sciences* **37**, 113 - 121.

Código Alimentario Argentino. 2007. Capítulo XII: Bebidas Analcoholicas. Bebidas hídricas, agua y agua gasificada.

De Montety, V., Radakovitch, O., Vallet-Coulomb, C., Blavoux, B., Hermitte, D.,Valles, V., 2008. Origin of groundwater salinity and hydrogeochemical processes in a confined coastal aquifer: case of the Rhone delta (Southern France). *Applied Geochemistry* **23**, 2337-2349.

Giménez, E., Morell, L., 1997. Hydrochemical analysis of salinization processes in thecoastal aquifer of Oropesa (Castellón, Spain). *Environmental Geology* **29**, 119-131.

Hem, J.D., 1985. Study and interpretation of the chemical characteristics of natural water. US Geological Survey Water Supply Paper 2254, 263 pp.

Imbellone, P., Giménez, J. 1997. Micromorphology of soils in quaternary littoral sequences. Northeastern Buenos Aires Province, Argentina. Shoba, S, Gerasimova, M, Miedema, R. Soil Micromorphology: studies on soil diversity, diagnostic and dynamics. *Moscú-Wageningen*. 93-105.

Jorgensen, N., 2002. Origin of shallow saline groundwater on the Island of Laeso, Denmark. *Chemical Geology* **184**, 359-370.

Marimuthu, S., Reynolds, D., Le Gal La Salle, C., 2005. A field study of hydraulic, geochemical and stable isotope relationships in a coastal wetland system. *Journal of Hydrology* **315**, 93-116.

Piper A. M. 1944 A graphic procedure in the geochemical interpretation of water analysis. *Am Geophys Union Trans* **25**, 914–923.

Sala, J., González, N., Hernández, M., 1978. Efectos de una barrera hidráulica natural en las aguas subterráneas del litoral de la Bahía de Samborombón. En: *Obra del Centenario del Museo de La Plata*, vol. IV, pp. 153e166.

Tricart J.L.F. (1973) Geomorfología de la Pampa Deprimida. INTA, *Colección Científica N°8* 12: 202.

Viswanathan G., Jaswanth A., Gopalakrishnan S., Siva ilango S., Adityal., G. 2009. Determining the optimal fluoride concentration in drinking water for fluoride endemic regions in South India. *Science of the Total Environment* **407**, 5298–5307.

INTERFEROMETRÍA SÍSMICA CON SISMOS VOLCANO-TECTÓNICOS APLICADA A DATOS DEL VOLCÁN PETEROA, ARGENTINA

Casas J. A.[1,2], Draganov D.[3], Manassero M. C.[1], Gomez M.[4], Ruigrok E[5], Badi G. A.[1]

[1]Facultad de Ciencias Astronómicas y Geofísicas, Universidad Nacional de La Plata, ARGENTINA
[2] CONICET, ARGENTINA
[3]Department of Geoscience and Engineering, Delft University of Technology, THE NETHERLANDS
[4]ICES, CNEA, ARGENTINA
[5]Department of Earth Sciences, Utrecht University, THE NETHERLANDS

e-mail: augustotkd@carina.fcaglp.unlp.edu.ar

RESUMEN

El desarrollo tecnológico de la instrumentación así como la mayor capacidad y velocidad de cálculo logrados en las últimas décadas han permitido incorporar nuevas metodologías para la caracterización de la subsuperficie. Hasta el momento, la Interferometría Sísmica (SI) resulta ser una de las técnicas más novedosas para obtener imágenes del subsuelo de alta resolución. La SI permite reconstruir la respuesta sísmica del subsuelo a un impulso (función de Green) a partir del análisis del ruido sísmico ambiental, ondas sintéticas o arribos de terremotos. La aplicación de SI se basa en el trabajo de Claerbout (1968), quien mostró la relación entre la autocorrelación de la respuesta a la transmisión en una tierra estratificada horizontalmente y su respuesta a la reflexión. Luego, esta teoría fue generalizada a un medio arbitrariamente heterogéneo (Wapenaar, 2003).

El presente trabajo resulta una contribución al conocimiento de la estructura subsuperficial en el área del volcán Peteroa (35°15'S, 70°35'W) mediante el uso de SI. Los datos analizados han sido provistos por una antena sísmica de seis estaciones de corto período (2 Hz) instalada por el proyecto MalARRgue (TUDelft, ICES-CNEA) durante el año 2012 en el flanco oriental del volcán.

Sobre la base de los trabajos de Wapenaar (2003) y Ruigrok y Wapenaar (2012), este estudio contempla la aplicación de SI a sismos volcano-tectónicos originados en la estructura del volcán Peteroa, los cuales han sido clasificados y caracterizados previamente (Casas, 2014). Mediante la autocorrelación de una ventana seleccionada en cada evento se obtiene la reflexión de cero offset para cada estación, la cual será utilizada para determinar la ubicación de reflectores someros del subsuelo.

INTRODUCCIÓN

En el contacto entre las placas Sudamericana y de Nazca, el arco magmático da claras manifestaciones de un tectonismo activo (ver Figura 1). Los volcanes que afectan a nuestro país se encuentran en su gran mayoría en el límite argentino-chileno y se caracterizan por sus erupciones explosivas, con emisiones de gases, cenizas y poco volumen de lava. La circulación atmosférica transporta las cenizas fundamentalmente hacia el este afectando seriamente a las poblaciones que allí se encuentran. Las recientes

erupciones del Planchón-Peteroa, Cordón Caulle, Hudson y Copahue, luego del terremoto en Chile del año 2010 (Mw 8.8), han despertado particular interés y preocupación en la comunidad científica argentina e internacional.

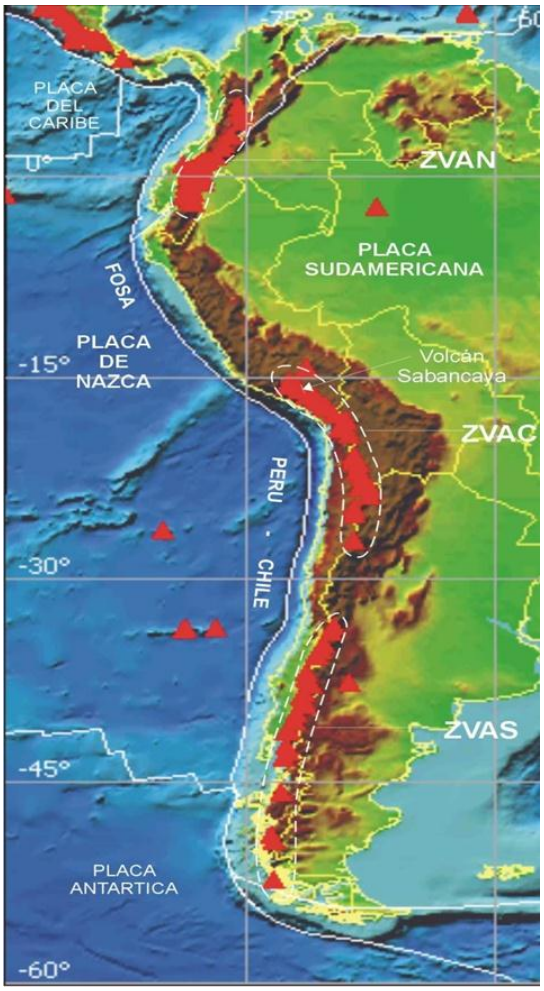


Figura 1. *Distribución de las principales zonas volcánicas (líneas blancas punteadas) sobre el borde occidental de América del Sur. ZVAN, ZVAC, ZVAS corresponde a la Zona Volcánica de los Andes del Norte, Central y Sur respectivamente.(Fuente: 'Volcanes y sismicidad en la región del volcán Sabancaya', Tavera y Antayhua, 2003).*

El desarrollo tecnológico de la instrumentación así como la mayor capacidad y velocidad de cálculo logrados en las últimas décadas, han permitido incorporar nuevas metodologías para la caracterización del subsuelo y el monitoreo de sus procesos dinámicos. Una de ellas es la Interferometría Sísmica (SI), resultando ser una de las técnicas más novedosas y resolutivas hasta el momento (*Schuster, 2009*).
El uso de la SI para el monitoreo volcánico es una línea de investigación nueva y aún en desarrollo. Esta técnica ha demostrado ser capaz de detectar cambios en los parámetros del medio que han servido como precursores de erupciones en varios volcanes (*Brenguier et al., 2010*) pero en algunos casos se ha visto que deben mejorarse la resolución temporal, la localización de los cambios sutiles detectados y el diseño y la densidad de las redes instrumentales utilizadas. Mediante la SI, se estima la respuesta impulsiva del subsuelo volcánico a partir del registro de sismos, microtremors, ruido cultural, o fuentes sísmicas artificiales con scattering y atenuación. De esta manera se obtiene información de las estructuras yacentes debajo del aparato volcánico. Por otro

lado, su conocimiento puede permitir, ante la ocurrencia de eventos sismovolcánicos, un modelado más preciso de la fuente de los mismos. Se trata entonces de entender la dinámica y estructura del sistema volcánico.
Desde su primer uso, los investigadores han desarrollado la SI en varios aspectos: uso de múltiples para incrementar la iluminación de las fuentes, aumento del área de registro, análisis de ruido ambiente, eliminación de una estructura compleja por encima del objetivo (*Nakata, 2013*).
Este trabajo contempla la aplicación de SI a sismos volcano-tectónicos originados en la estructura del volcán Peteroa, los cuales han sido identificados y caracterizados previamente (*Casas et al., 2014*). La interpretación de los resultados obtenidos permitirá la caracterización del subsuelo bajo las estaciones ubicadas en torno al volcán.

VOLCÁN PETEROA

El Complejo Volcánico Planchón-Peteroa (CVPP) es un complejo elongado con varias calderas superpuestas, originadas por distintos procesos de colapso durante su historia eruptiva. En sus alrededores existen varios glaciares, que dan nacimiento a importantes ríos. Del lado chileno podemos destacar al río Claro, que se une al río Teno, y a parte de la cuenca superior del río Colorado; por el lado argentino, al río de Valenzuela, que más adelante se transforma en el río Grande. El CVPP incluye tres cumbres principales: el volcán Planchón al norte, el volcán Peteroa en el centro y el cerro El Peñón (volcán El Azufre) al sur, originadas a partir de procesos de migración del conducto principal a lo largo de su historia.
En cuanto a la construcción y evolución del citado complejo volcánico, es aceptado el modelo de Tormey et al. (1989) y modificado por Haller et al. (1994), según el cual la actividad eruptiva comenzó en el Pleistoceno en un edificio volcánico inicial, de mayor volumen, denominado El Azufre, de características basáltico-andesítico a dacítico. Luego, se dio lugar a la generación del Planchón I a 6 Km al N de la estructura anterior, a partir de un conducto distinto que se abrió camino desde la cámara magmática hacia la superficie. En esta etapa, el complejo sufre un proceso de derrumbamiento de su estructura generando un hemicrater de visión hacia el W, con presencia de lahares de alcance hasta 75 Km hacia esa dirección. A partir de un lento ascenso de magma impulsado por la dinámica volcánica activa, se dio origen al Planchón II, dentro del aparato colapsado. Por último, la secuencia culmina con un desplazamiento hacia el sur de la actividad del complejo, dando lugar a la generación del volcán Peteroa, de características andesítico a basáltico-andesítico. Este aparato, ubicado a 95 Km NW de la ciudad de Malargüe y 45 Km SW del valle de Las Leñas (ver Figura 2), constituye el foco de vulcanismo reciente.
En la actualidad el sistema activo del CVPP corresponde únicamente al Volcán Peteroa. Este cuenta, dentro del registro de su actividad histórica, con una veintena de eventos eruptivos mayormente débiles, entre los cuales se destacan (*Haller y Risso, 2011)*:

- 1837, erupción durante la cual se habrían emitido lavas y dado lugar a la formación de lahares, que según las crónicas, habrían arrastrado bloques de hielo hacia el río Teno.

- 1991, erupción freatomagmática, con una columna eruptiva baja, expulsando cenizas a kilómetros de distancia y provocando contaminación en las aguas del río Claro. Se ha documentado presencia de lahares.
- 2010 y 2011, en este tiempo se registró actividad de variable magnitud, dentro de las cuales podemos destacar por ser mayores, aquellas que se originaron el día 10 de Septiembre de 2010 y 22 de Junio de 2011, de carácter explosivo y de estilo freatomagmático.

Actualmente, en el Peteroa opera un sistema hidrotermal alimentado por la fusión del casquete glacial y la infiltración de las aguas freáticas, ya que el líquido interactúa con rocas sobrecalentadas por los niveles superiores de la cámara magmática (*Benavente Zolezzi, 2010*). La constante acción de fluidos pudo ser ratificada mediante caracterización sísmica (*Casas et. al, 2014*), a partir del predominio de eventos volcánicos tipo Largo Período (LP) y Tremor en los registros.

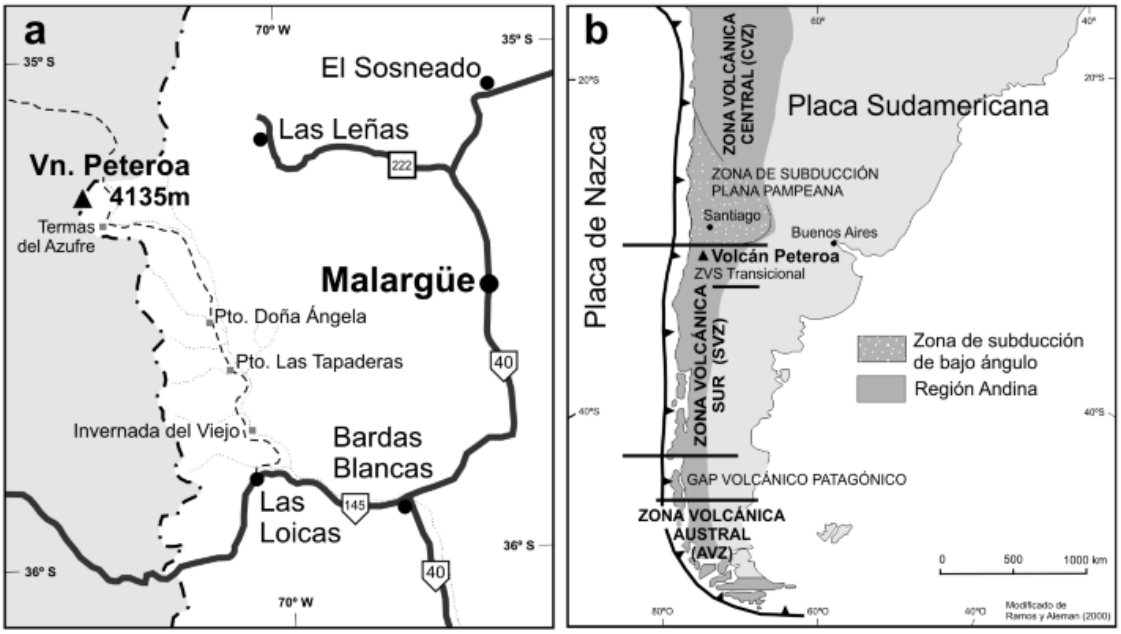


Figura 2. *a) Mapa de ubicación del volcán Peteroa y localidades cercanas; b) ubicación del volcán Peteroa en el contexto de las Zonas Volcánicas de la cordillera de los Andes (Fuente: 'La erupción del volcán Peteroa (35º15'S, 70º18'O) del 4 de septiembre de 2010'; M. J. Haller, C. Risso, 2011).*

INTERFEROMETRÍA SÍSMICA

La Interferometría Sísmica (SI) es una técnica de procesamiento sísmico para reconstruir campos de ondas. Esta técnica es usada particularmente en geofísica de exploración y sismología, ya sea con fuentes activas o pasivas, es decir, fuentes artificiales (dinamita, vibros, etc) o fuentes naturales (sismos, ruido cultural, mareas, entre otros). Así la SI consiste en la reubicación de ondas generadas por estas fuentes en campos de ondas provenientes de fuentes virtuales. Esto permite obtener información a partir del registro de complicados campos de ondas (*Sens-Schönfelder and Wegler, 2006; Brenguier et al., 2008a; Schuster, 2009*).

Una de las bases de la Interferometría Sísmica se encuentra en el teorema de Claerbout (1968), según el cual la respuesta reflectiva de un medio acústico de capas planas y

paralelas puede ser obtenida mediante la autocorrelación de la respuesta a la transmisión de una onda plana. En otras palabras, mediante la autocorrelación del registro sísmico se puede obtener, para cada estación, un sismograma tal que la fuente y el receptor se ubican en el lugar de la misma estación. Así podemos obtener información acerca de las diferentes reflexiones en el subsuelo. Esta teoría fue generalizada a un medio elástico arbitrariamente heterogéneo (*Wapenaar, 2003; Derode et al., 2003; Schuster et al., 2004*). De lo expuesto aquí, se desprende el hecho de que en la actualidad puede obtenerse la respuesta a la reflexión de onda P o S entre 2 estaciones sobre una porción de la superficie terrestre.

Para el caso generalizado, la extracción de la función de Green con SI basada en cross-correlación entre 2 sensores puede ser obtenida a partir de los modos normales (*Lobkis and Weaver, 2001*), los teoremas de representación (*Wapenaar, 2004; Wapenaar and Fokkema, 2006*), el principio de reversión en tiempo (*Roux and Fink, 2003*), y un analisis de fase estacionaria (*Snieder, 2004a; Snieder et al., 2006b*). Mediante la aplicación de SI con cross-correlación se puede conseguir que una de las estaciones actúe como si fuera fuente activa para las demás estaciones del array.

En este trabajo se aplica SI mediante un proceso de autocorrelación, en lugar de cross-correlación, en consecuencia de que el procesamiento y análisis es realizado por cada estación individualmente. Para su aplicación, se asume una litósfera horizontalmente estratificada y ondas sísmicas con incidencia normal a la superficie.

En los registros, puede distinguirse el arribo de las ondas directas seguido de reverberaciones. Estas últimas consisten en energía que llega a la estación luego de haber sufrido múltiples reflexiones en las diferentes discontinuidades del subsuelo. La SI permite aislar estos arribos y reconstruir la respuesta reflectiva de la señal a partir de la autocorrelación del registro del sismo.

Para el caso de un medio subsuperficial estructurado por capas perfectamente horizontales y paralelas, iluminado por ondas planas, tiene validez la ecuación:

$$T(X_A, p, -t) * T(X_A, p, t) = -R(X_A, p, -t) + \delta(t) + R(X_A, p, t) \quad \textbf{(1)}$$

Donde $T(X_A, p, t)$, la respuesta a la transmisión, surge de la selección de una porción de registro de la estación X_A. Esta ecuación establece que la respuesta a la reflexión $R(X_A, p, t)$ para la misma estación y el arribo de un sismo con parámetro del rayo p, es obtenida a partir de la autocorrelación de $T(X_A, p, t)$, tomando la parte causal cambiada de signo de su resultado y anulando la delta de Dirac.

Considerando la función fuente temporal de cada sismo registrado, surge la ecuación:

$$\sum_{\theta_{\min}}^{\theta_{\max}} \sum_{p_{\min}}^{p_{\max}} T(X_A, p, -t) * s_i(-t) * T(X_A, p, t) * s_i(t) \approx \left[-R(X_A, p, -t) + \delta(t) + R(X_A, p, t) \right] * S_n(t) \quad \textbf{(2)}$$

Siendo $s_i(t)$ la función fuente para el i-ésimo sismo (a priori desconocidas) y $S_n(t)$ la autocorrelación promedio de todas las funciones fuentes.

La ecuación **(2)** resulta más general que **(1)**, no solo por la consideración de las funciones fuente, sino porque además considera el uso de diferentes sismos cuyos back azimuth θ y parámetro del rayo p se encuentran entre valores predeterminados.

Esta ecuación nos dice que la suma de las autocorrelaciones de cada respuesta a la transmisión para cada sismo, es decir la traza stack para esta estación, es aproximada por una convolución entre el resultado de la ecuación **(1)** y el promedio de las autocorrelaciones de las funciones fuente $S_n(t)$.

Las autocorrelaciones poseen tanto eventos reales como espurios. Sin embargo, al obtener la traza stack para una adecuada selección de sismos, es decir, limitando los valores del parámetro del rayo y back azimuth de los mismos correctamente, eventos estacionarios son acentuados mientras que los espurios son realmente atenuados (*Ruigrok y Wapenaar, 2012*).

APLICACIÓN Y RESULTADOS

El presente estudio se basa en los resultados obtenidos por Casas et al. (2014), según el cual se han identificado, caracterizado y localizado sismos registrados por un array temporal de seis estaciones ubicado en el flanco oriental del volcán Peteroa. Este array fue desplegado por el proyecto MalARRgue (*Ruigrok et al., 2012*), en enero de 2012 y por un período de un año. Las estaciones fueron provistas por el programa IRIS-PASSCAL, las cuales contaban con sensores de tres componentes en corto período (2 Hz) Sercel-L22, adquisidores Reftek modelo 130B, control de tiempo GPS, panel solar y baterías para la alimentación. La Figura 3 muestra la distribución de las estaciones de la red. En cada estación, los datos fueron adquiridos en forma continua y a una frecuencia de 100 mps, siendo almacenados en archivos de una hora de duración y formato mseed.

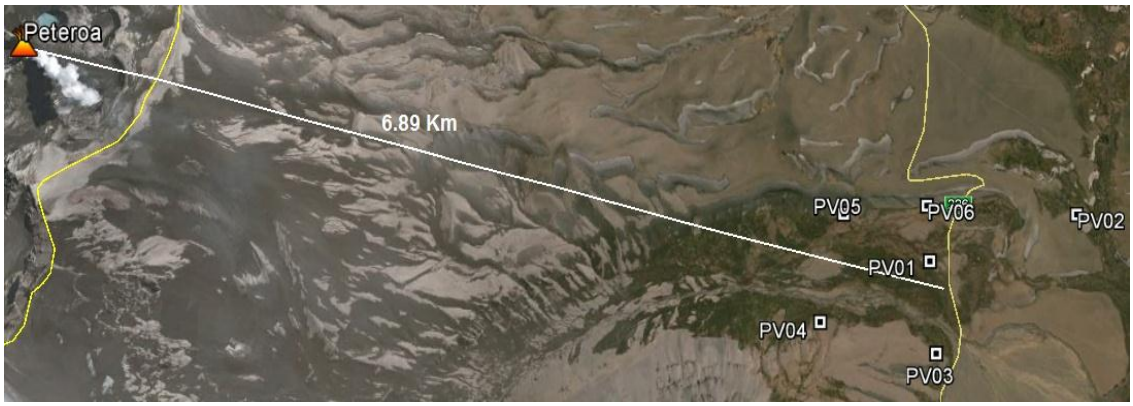


Figura 3. Distribución geométrica de estaciones y su relación con la ubicación del volcán Peteroa. Puede observarse aquí la distancia de 6.89 km entre el volcán y aproximadamente el centro del array.
Fuente: GoogleEarth2013

El análisis se realiza a partir de la distribución areal de los eventos volcano-tectónicos (VT) registrados por el array. De los resultados de las localizaciones, obtenidas mediante diferentes técnicas, se eligieron aquellas que surgen de la aplicación de la técnica de inversión de tiempos de arribo.

Se seleccionaron aquellos sismos cuyos hipocentros se encontraban aproximadamente por debajo del array. Esta elección surge de la necesidad de utilizar la respuesta de

transmisión de onda P para los cálculos, siendo en este caso, aproximada por la componente vertical de los registros (ver Figura 4).
Debido a la configuración de estaciones y la incertidumbre resultante en las localizaciones, se decidió ampliar el área seleccionada tal como se muestra en la Figura 4. Los eventos seleccionados por estación (Tabla 1) varían según la calidad de los registros.

Estación	PV01	PV02	PV03	PV04	PV05	PV06
Cantidad	36	39	52	47	55	69

Tabla 1. Cantidad de eventos seleccionados por estación para el cálculo.

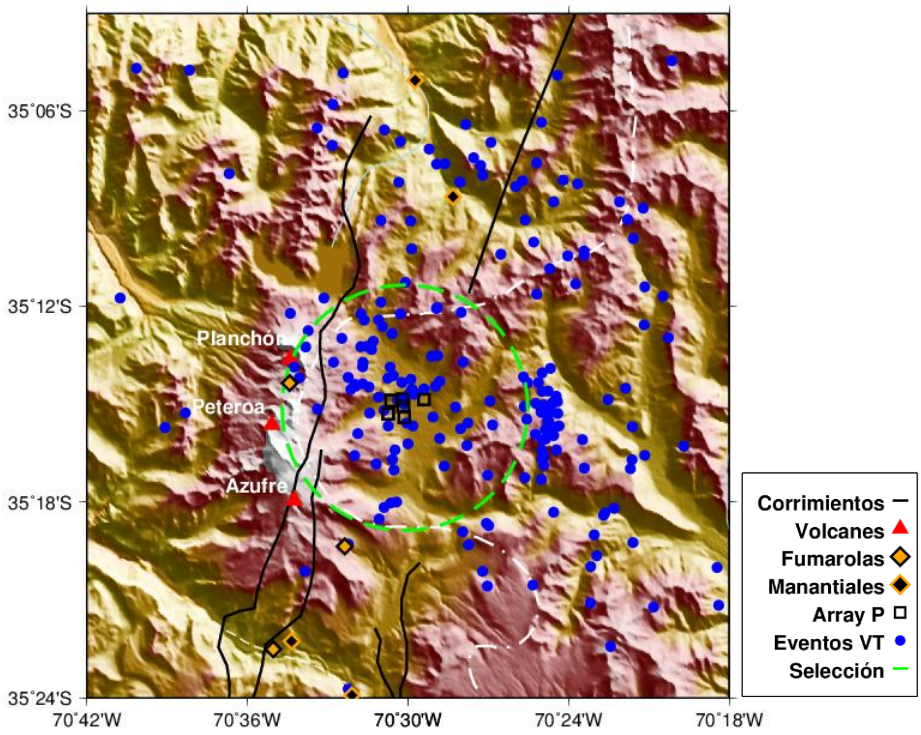


Figura 4. Distribución de sismos volcano-tectónicos (puntos azules), estaciones del array (rectángulos negros) y ubicación del volcán. El círculo verde encierra aquellos sismos que son utilizados en el procesamiento.

Las trazas fueron filtradas en la banda 6-24 Hz. El límite inferior de este filtro fue elegido para evitar la contaminación del dato con el tremor de fondo, característico del volcán. La cota superior fue elegida de manera que la amplitud espectral de la señal se encontrara por encima del ruido.
Seguidamente, se prosiguió con la selección de la ventana temporal que incluya el arribo de la fase directa y las reverberaciones de la subsuperficie. Así, el comienzo de la ventana fue elegido en 0.5 seg antes del arribo de la onda P, para asegurar la inclusión del comienzo del primer pulso independientemente de posibles errores de lectura. Asimismo, uno de los parámetros utilizados para decidir la longitud de esa ventana, fue el valor de profundidad estimado por Benavente Zolezzi (2010) para la cámara magmática asociada al volcán Peteroa mediante un análisis de muestras de aguas termales y meteóricas de la zona. Suponiendo una velocidad de onda P, se considera una ventana de 4 segundos. Aquí debe tenerse en cuenta que una ventana excesivamente

larga puede incluir arribos de ondas no deseadas, valores que se mezclarían en la autocorrelación con el dato útil y por ende llevarían a una disminución en la resolución del resultado. La Figura 5 muestra las ventanas seleccionadas para una de las estaciones del array. Cada una de las ventanas de cálculo ha sido normalizada mediante el uso de ventanas móviles con una normalización según el valor medio absoluto de la ventana. Mediante este proceso se obtiene una acentuación del arribo de interés por sobre el ruido, particularmente para el arribo de las reverberaciones, aunque también para otros arribos, como por ejemplo los definidos por otros sismos si arribaran en la misma ventana temporal. Por esto, la elección de la longitud de la ventana es un paso crucial en el procesamiento.

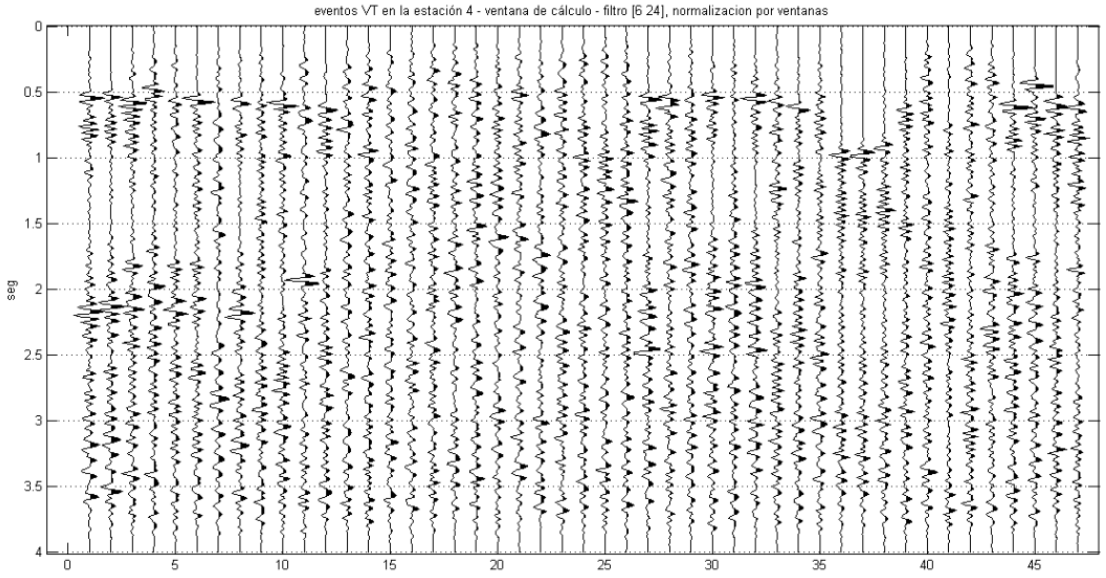


Figura 5. Segmentos de sismos que serán utilizados para la aplicación de SI. En este caso, un ejemplo de la estación PV04.

Siguiendo a Claerbout (1968), para obtener el valor de retardo de las reverberaciones respecto al arribo de la onda directa, se debe aplicar un proceso de autocorrelación.
En base a la ecuación **(1)**, vemos el hecho de que la autocorrelación reconstruye la respuesta reflectiva, pero arroja también una señal impulsiva que debe eliminarse. Al contar con registros de banda limitada, es imposible reconstruir una señal impulsiva perfecta por lo que se obtiene una versión acotada en su contenido de frecuencias o, lo que es lo mismo, ensanchada en el dominio del tiempo.
De la ecuación **(2)**, podemos ver que es necesario eliminar de nuestra ventana la autocorrelación del promedio de las funciones fuente $S_n(t)$, con el objeto de obtener una mejor estimación de la respuesta reflectiva. Esta cantidad a deconvolucionar es aproximada a partir de un análisis sobre el lóbulo central de las autocorrelaciones, en la cual se supone que el espectro de la respuesta reflectiva es 1 para las frecuencias de trabajo (*Yilmaz, 2001*). Una vez hecha su estimación, se prosiguió a su deconvolución en un análisis de cada traza individualmente.

DISCUSIÓN

El objetivo de este trabajo es caracterizar las estructuras del subsuelo por debajo de las estaciones ubicadas en cercanías al volcán Peteroa, a partir de la obtención de imágenes de alta resolución. Para ello se han aplicado una serie de algoritmos dedicados a transformar el dato, presentándose aquí resultados parciales de dicho proceso. Está claro que restan aún algunos pasos antes de obtener un resultado que permita arribar al objetivo planteado.

A partir del análisis de los resultados obtenidos, al momento se han propuesto una serie de tareas a futuro. La primera de ellas surge de la incertidumbre en la sub-verticalidad del arribo de los sismos. Se analizará entonces, para cada sismo, si su componente vertical es una buena aproximación de la respuesta de transmisión de onda P, a partir de una comparación entre las 3 componentes del registro.

Por otro lado, se hace necesaria la revisión de la longitud de la porción de registro a procesar, debido a que es un paso crucial para el resultado a obtener. Asimismo, para mejorar la resolución de esta ventana a ser autocorrelacionada, es decir, de la traza en tiempo, se realizará un suavizado de su espectro de amplitud. Con el mismo objetivo, se realizará un balance espectral, que permitirá atenuar aun más el ruido.

Cada uno de estos procesos se espera mejorarán la resolución de las autocorrelaciones, de manera que pueda llevarnos a la situación de un stacking óptimo. Logrado esto, sería inminente la obtención de una respuesta reflectiva de onda P de alta resolución y por ende, su interpretación estructural.

Se agradece especialmente al Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva de Argentina, a IRIS - PASSCAL de EEUU, a la Municipalidad de Malargüe, Mendoza, a Defensa Civil y al Proyecto Pierre Auger, por el apoyo para la implementación de la red sísmica.

COMPARACIÓN DE LA TASA DE CRECIMIENTO Y DENSIDAD DE ÁLAMO CRIOLLO DE DOS CORTINAS FORESTALES DEL DEPARTAMENTO DE MALARGÜE

Castaño-Gañán Ana Rosa[a]

[a]*ICES-CNEA, Regional Malargüe, ARGENTINA*
e-mail: aganan@cnea.gov.ar

RESUMEN

Malargüe posee *Populus nigra* cv Italica, álamo criollo plantado como cortina cortaviento para protección de la ciudad, riesgo aluvional y de cultivos agrícolas, son cerca de 310 ha en la zona urbana. Históricamente, dicha madera ha sido utilizada en la región, principalmente con destinos rurales (poste corto y leña), en casos excepcionales como material de aserrío. Sin embargo, nunca ha existido un aprovechamiento intensivo de ella, debido fundamentalmente a su baja durabilidad natural, inferior a 5 años, la cual con el tratamiento adecuado se puede corregir (IRAM 9600, 1998). El propósito es comparar la tasa de crecimiento y la densidad de la madera de álamos caídos de dos cortinas forestales en estado de abandono y tipos de suelo diferente. Uno de los sitios de muestreo está al oeste de la ciudad donde termina el piedemonte y el otro se ubica hacia el este en la depresión de Llancanelo, constituyendo el límite urbano. Este trabajo es parte inicial de un programa de dendroquímica. Se tomaron 34 rodajas de álamo criollo a 1,30 cm desde la base (donde fue posible ya que habían troncos en estado de pudrición), Los resultados muestran una tasa de crecimiento en diámetro mayor para los árboles del lado oeste (0,65 cm/año), y una densidad mayor para los del límite este (0,45gr/cm^3). La madera de los árboles de la zona oeste puede ser apta para aserrío y la del lado este puede ser usada para postes, debido a su mayor densidad. Aunque en términos generales las dos poblaciones se han comportado como una misma población P (*same variance*)=0,87005.

Palabras Clave: .Álamo criollo, Densidad de la madera, Cortina Forestal.

Introducción:

En la República Argentina existen aproximadamente 64.000 ha forestadas con especies del género *Populus* (álamos), siendo las principales zonas productoras el Delta del Paraná, Cuyo, Patagonia y la Pampa Húmeda (Achinelli, 2006). En la región patagónica en general, existe un recurso importante de álamo criollo, *Populus nigra* cv Italica, concentrado principalmente en cortinas protectoras de cultivos fruti-hortícolas (Peri y Martinez Pastur, 1998), previenen de los fuertes vientos a la producción agrícola, crean condiciones microclimáticas favorables para el ganado y son un factor de control de la erosión del suelo y la desertificación (Peri y Bloomberg, 2002). Dentro de las virtudes de la madera de esta especie, se encuentran su color claro, su grano derecho, la ausencia de extractivos y si bien su durabilidad natural es baja y limita su uso en

condiciones de riesgo severas, presenta la característica de ser fácilmente impregnable (IRAM 9600, 1998). Históricamente, dicha madera ha sido utilizada en la región, principalmente con destinos rurales (poste corto y leña), en casos excepcionales como material de aserrío. Sin embargo, nunca ha existido un aprovechamiento intensivo de ella, debido fundamentalmente a su baja durabilidad natural, inferior a 5 años (IRAM 9600, 1998).
Malargüe posee *Populus nigra* cv Italica, álamo criollo sembrado como cortina cortaviento para protección de la ciudad y de cultivos agrícolas, son cerca de 310 hectáreas en la zona urbana. Su madera posee potencial para ser aprovechada cómo recurso maderero y no sólo como combustible. Aunque cada conjunto boscoso debe ser analizado por separado ya que no hay homogeneidad en el manejo forestal (riego, poda, fertilización etc.) ni en el tipo de suelo. El propósito es comparar la tasa de crecimiento en diámetro y la densidad de la madera de álamos caídos de dos cortinas forestales en estado de abandono forestal y tipos de suelo diferente. Las cortinas de árboles pasados de edad, y en un futuro las nuevas plantaciones podrían abastecer de materia prima a pequeñas o medianas industrias forestales.

Metodología

Área de estudio:

Malargüe es el departamento más austral de la provincia de Mendoza (Figura 1), se encuentra a 420 Km. de la Ciudad Capital provincial, se ubica a unos 1475 msnm. Su nombre proviene de la lengua mapuche Malal Hue (que significa corral de piedra o zona de corrales, debido a formaciones montañosas donde los aborígenes llevaban a su ganado). Limita al norte con el departamento de San Rafael, al este con la provincia de la Pampa, al sur con la provincia de Neuquén y al oeste con la República de Chile. Es el departamento más extenso (41.317 km^2) y el menos poblado (25.201 hab. aprox.). En cuanto a sus recursos económicos, en el pasado, las principales actividades económicas eran la exploración y producción de petróleo y la minería, entre otras, de uranio, que en épocas de auge le dieron un cierto dinamismo a la ciudad. En la actualidad, también hay hoteles y cabañas disponibles para visitantes interesados en el eco-turismo durante el verano, y esquí durante el invierno en los resorts de Las Leñas y Los Molles. Las inversiones en infraestructura (centro de convenciones y planetario) han posicionado la ciudad como un atractivo interesante para la realización de reuniones científicas de nivel provincial, nacional e internacional, haciendo surgir un pujante turismo de congresos.

La agricultura se caracteriza por las plantaciones de papas, siendo Malargüe uno de los más importantes productores de semillas de este cultivo libre de plagas. La disponibilidad de agua de la cuenca del río Malargüe posibilitó el desarrollo de un oasis caracterizado por una importante forestación ornamental y por cortinas forestales (de álamos) con funciones de protección climática por ejemplo contra heladas producidas por vientos fríos; de defensa aluvional y con posibilidades de aprovechamiento económico por la producción de madera.

El clima varía según la altura, Malargüe desde el punto de vista climático, está dominada por masas de aire provenientes del Anticiclón semipermanente del Océano Pacifico, ya que se encuentra en la puerta de la Patagonia. Esta es la principal causa por la que predominan los vientos del oeste, de velocidad constante, y la escasa nubosidad, 120 días por año totalmente despejados, (alto índice de heliofanía) lo cual hace del

departamento una región apta para el uso de energía eólica y solar. En consecuencia, las lluvias son escasas, no superan los 200mm anuales. En general, durante el verano el clima de la planicie es cálido y seco con gran amplitud térmica diaria (días calurosos con noches frescas) y recibe los vientos húmedos del Atlántico que aportan lluvias torrenciales, provocando crecidas en los arroyos y ríos que descienden de las quebradas montañosas. Por ejemplo, la temperatura máxima absoluta del departamento Malargüe es de 35° C (en diciembre); la mínima absoluta es de -13°C (en julio); y la temperatura media anual en ningún mes supera los 20°C. El clima, el tipo de relieve, y los suelos influyen en el crecimiento de la vegetación, adaptada a las condiciones de altura, bajas temperaturas y sequedad del ambiente, por lo que las plantaciones forestales requieren de un sistema de riego de manto (el más común y perjudicial) o por goteo. Ademàs el viento Zonda fuerte, cálido y de extrema sequedad, proveniente de la precordillera cuyana, afecta desfavorablemente al disminuir la humedad del ambiente, por lo que las plantaciones forestales planificadas contribuyen a disminuir sus efectos adversos.

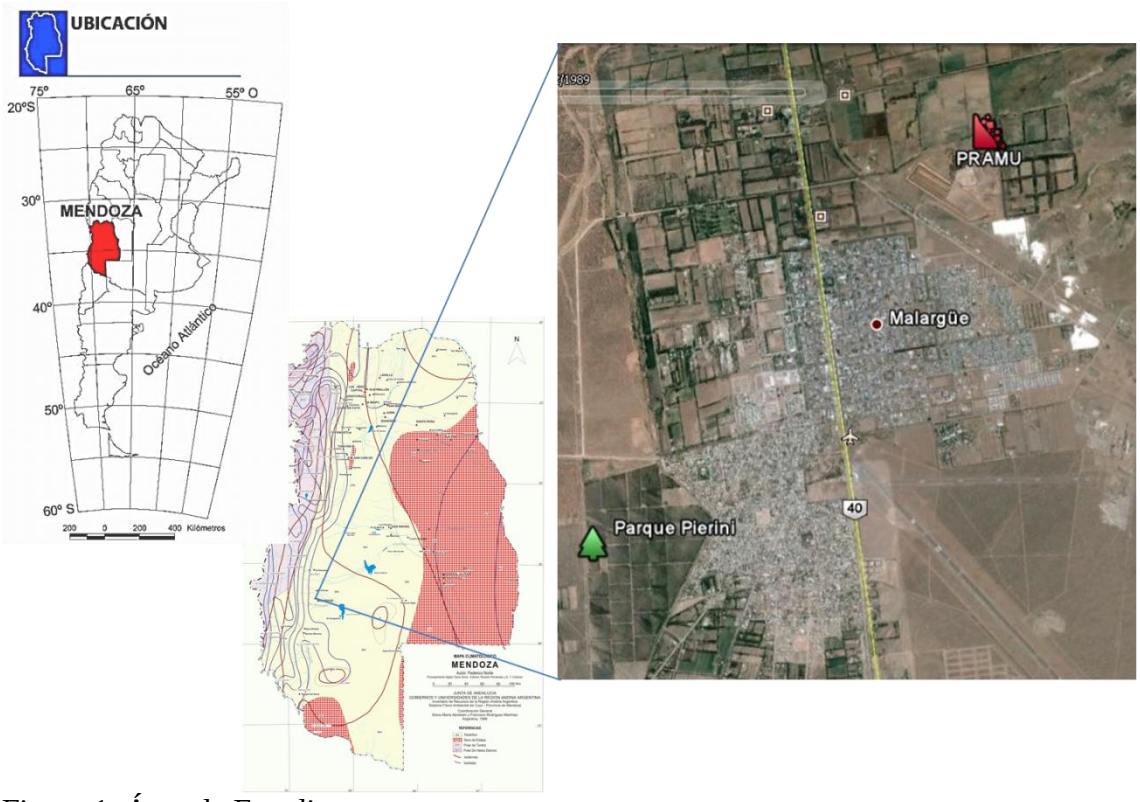


Figura 1. Área de Estudio.

Sitios de muestreo: descritos según Municipalidad de Malargüe (2007).
Zona Cortina Forestal Oeste
Rol Urbano: Defensa forestal de los vientos del oeste y de potenciales aluviones.
Límites: Norte: Calle pública vereda sur del Barrio Virgen de Los Vientos.
Sur: Calle Fortín Malargüe e intersección con Santa Cruz.
Este: (vereda oeste), de calle Santa Cruz y calle pública (vereda oeste) de zona turística.
Oeste: franja periférica oeste, siguiendo la traza del Canal Rama Centro Cañada Colorada.
Situación ideal pretendida: Una cortina forestal densa y sana que permita una verdadera disminución de los vientos y de la fuerza del agua en aluviones que puedan producirse

Fundamentación técnica: Es conocida la función de las cortinas forestales del oeste en Malargüe. Los estudios relativos al riesgo aluvional en Malargüe reforzaron la visión de la importancia de la cortina forestal al oeste de la ciudad. Se trata de una defensa pasiva y que necesita de otro tipo de obras para funcionar completamente pero lo más evidente es la necesidad de reforzarla y extenderla aún más. Paralelamente puede tener usos recreativos y turísticos, aprovechando las panorámicas que desde ella se tienen de la montaña. Podría ser el puntapié inicial para la creación de un parque al estilo del Parque San Martín en la capital mendocina.
Usos del suelo primarios: Forestal
Usos del suelo aceptados: Recreativos

Esta cortina forestal fue plantada en la década del 70´, a una densidad de 832 árboles por hectárea y fue manejada hasta finales de los 90`.

Zona de muestreo "Sitio PRAMU" lo que en un futuro será Zona Parque del Mirador
Rol Urbano: Área de esparcimiento y recreación
Límites: Terreno perteneciente a la Comisión Nacional de Energía Atómica (CNEA), con nomenclatura catastral Nº: 19-99-02-22-44-24-05.
No permitiéndose la extensión más allá de tales límites.
Situación ideal pretendida: Una elevación con parquización y un mirador desde el cual se obtenga una buena visión de la ciudad, el piedemonte y la montaña.
Fundamentación técnica: Según el proyecto de la CNEA para este predio, una vez gestionados los pasivos ambientales, se destinarán sus 40 ha para su conversión en un parque con un mirador de la ciudad.
Usos del suelo primarios: Recreativos de tipo paseo. No aceptándose usos recreativos nocturnos ni relacionados con actividades tipo camping.
Usos del suelo aceptados: Ninguno

Esta cortina forestal fue plantada en la década del 50´, a una densidad de 1110 árboles por hectárea y fue manejada hasta finales de los 80´.

Materiales y Métodos:
De forma aleatoria se seleccionaron 34 árboles que se encontraban derribados por el viento, algunos ya presentaban signos de pudrición en la raíz y tallos, debido al deterioro natural de la madera y/ó por ataque de insectos u hongos. De cada árbol se obtuvieron las rodajas (muestras de corte transversal) a una altura de 1,30 cm, para determinar los anillos de crecimiento y la densidad de la madera por el método volumétrico. Las muestras de árboles que presentaban pudrición no se tuvieron en cuenta para el cálculo de la densidad, pero sí para la tasa de crecimiento diametral.

Se comprobó la normalidad de los datos. Se compararon las medias y varianzas entre las dos muestras. Se realizó un estudio de las distribuciones de las medidas de densidad y tasa de crecimiento en diámetro para tener una comparativa visual mediante un gráfico de Caja (*Box-Plot*). Las comparaciones se realizaron utilizando el programa estadístico Statgraphics Centurion.

Resultados:
Las tablas 1 y 2 presentan la estadística univariada de la tasa de crecimiento en diámetro y la densidad para los árboles muestreados de las dos cortinas forestales.

Se han medido en el sitio PRAMU 18 muestras para determinar la tasa de crecimiento diametral y en 11 se determinó la densidad. En la cortina del parque Pierini con 16 muestras se determinó la tasa de crecimiento diametral y con 7 la densidad de la madera. La menor tasa de crecimiento en diámetro fue de 0,20 cm/año en sitio PRAMU y la mayor de 1,064 cm/año en parque Pierini.

Tabla 1. Estadística univariada de la tasa de crecimiento en diámetro (cm/año) para los árboles muestreados de la cortina forestal del sitio PRAMU y del parque Pierini.

	Cto PRAMU	Cto PIERINI
N	18	16
Min	0,2047619	0,2541176
Max	0,9108696	1,064516
Sum	9,92584	10,54177
Mean	0,5514356	0,6588609
Std. error	0,05332428	0,05880356
Variance	0,05118262	0,05532573
Stand. dev	0,2262358	0,2352142
Median	0,5714286	0,7008696
25 prcntil	0,3682037	0,4407057
75 prcntil	0,7307937	0,8342247
Skewness	0,07872836	-0,01235124
Kurtosis	-1,139082	-0,9348048
Geom. mean	0,5028828	0,6150203
Coeff. var	41,02669	35,70014

Tabla 2. Estadística univariada de la densidad (g/cm^3) de la madera para los árboles muestreados en la cortina forestal del sitio PRAMU y del parque Pierini.

	D PRAPU	D PIERINI
N	11	7
Min	0,3387182	0,25069
Max	0,8135305	0,4384025
Sum	4,997978	2,641373
Mean	0,4543617	0,3773389
Std. error	0,03926686	0,02339491
Variance	0,01696075	0,00383125
Stand. dev	0,1302334	0,06189712
Median	0,4086979	0,4000887
25 prcntil	0,3830071	0,34795
75 prcntil	0,472833	0,4087458

Skewness	2,408485	-1,73986
Kurtosis	6,639953	3,297257
Geom. mean	0,4413933	0,3721868
Coeff. var	28,66294	16,40359

La densidad mayor se presentó en el sitio PRAMU 0,81gr/cm^3 y la menor fue de 0,25 gr/cm^{3}en el parque Pierini. Los valores promedio de crecimiento en diámetro para el sitio PRAMU y parque Pierini son 0,55 y 0,65 y en la densidad son 0,45 y 0,37, siendo semejantes la media aritmética y la geométrica. El punto central (mediana) no es muy semejante, por lo que podemos afirmar que hay valores extremos significativos. La desviación estándar más baja es para la densidad de la madera del parque Pierini (0,0618), lo que nos permite concluir que la variabilidad es comparativamente escasa: la mayoría de valores se sitúa a escasa distancia del punto central. La asimetría no es muy acusada para las tasas de crecimiento en diámetro (Skewness= 0,07 y -0,01), si bien al ser positiva, debiéramos considerar que la distribución está un poco escorada hacia la derecha. La Kurtosis es menos elevada en la tasa de crecimiento en diámetro (-1,13 y -0,93) que para la densidad (6,63 y 3,29), lo que refuerza la idea de la homogeneidad, regularidad y escasa variabilidad en la tasa de crecimiento diametral.

Los coeficientes de variación para la tasa de crecimiento en el sitio PRAMU y parque Pierini son respectivamente de 41% y de 35,7%. Y para la densidad de la madera en sitio PRAMU y Pierini la variación afecta al 28,6% y al 16,4% de los datos respectivamente. Dado que en ambos casos la desviación típica es inferior a la mitad de la media, podemos suponer que la variabilidad general es escasa.

Con la prueba de Shapiro-Wilk (ideal para este tamaño de muestra) identificamos que los datos de la tasa de crecimiento de la madera para cada sitio muestreado se distribuyen de manera normal p(normal)>0,05, en sitio PRAMU p(normal)= 0,59 y en parque Pierini p(normal)=0,87. El valor de probabilidad de la hipótesis de normalidad para le densidad de la madera en los dos sitios fue baja, en sitio PRAMU p(normal)=0,00095 y en parque Pierini p(normal)=0,048, rechazamos la hipótesis de que los datos observados hayan sido producidos por una causa que se comporte como el modelo teórico debido a su baja probabilidad.

Los resultados de la prueba F para comparar las varianzas entre los datos de la tasa de crecimiento en diámetro de los árboles que crecieron en la cortina forestal del parque Pierini y los que crecieron en el sitio PRAMU. La hipótesis nula afirma la ausencia de relación y lo aleatorio de las diferencias observadas entre los sitios. Las varianzas son similares, la prueba F arrojó que la hipótesis de igualdad de varianzas se cumple -*p(same variance)*- puesto que el resultado es de 0,87. Concluiremos que los datos observados constituyen un subconjunto de una población general, cuya varianza es igual.

Con la prueba F comprobamos la igualdad de varianzas, entonces probamos *t* para comparar las medias y obtenemos que el crecimiento dimétrico de álamos en los dos sitios no presentó diferencias entre muestras *p(same mean)*<0,05, con un *p(same mean)*= 0,18. Los sitios explican muy poco la tasa de crecimiento diamétrico. Por tanto los sitios de muestreo no pueden diferenciarse con respecto a la tasa de

crecimiento diamétrico y por tanto no podemos afirmar la existencia de una relación entre el sitio y la tasa de crecimiento diamétrico.

Grafico de Cajas (*box plot*): En las figuras 2 y 3 las distribuciones corresponden a la variable de tasa de crecimiento y densidad respectivamente y cada serie corresponde a una categoría de sitio del muestreo. Puede visualizarse la representatividad de los valores extremos, es decir, cuán diferentes son de la mayoría de los datos –los que se sitúan dentro de la caja.

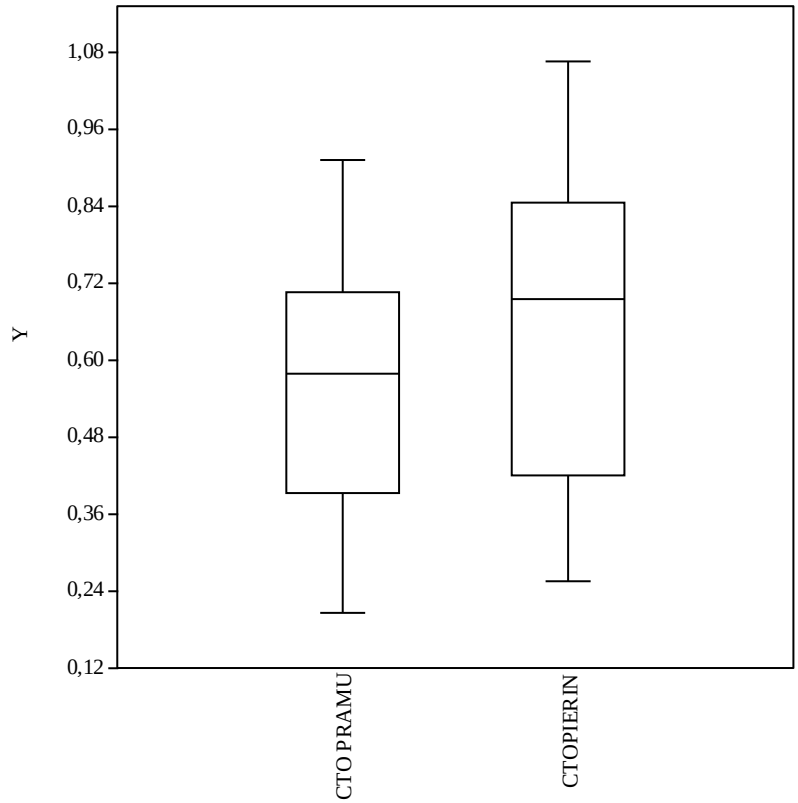


Figura 2. Distribución de la tasa de crecimiento en diámetro de álamo criollo según el sitio de muestreo

En la figura 2 la variabilidad de la tasa de crecimiento de los álamos es prácticamente idéntica en cada una de las circunstancias señaladas de los sitios de muestreo. La tasa de crecimiento es casi igual pero la ubicación de la mediana es diferente, se identifica la aparición de un valor mínimo para sitio PRAMU y uno extremo para parque Pierini. La dispersión de los datos de tasa de crecimiento diamétrico es mayor en el parque Pierini.

En este diagrama observamos que aunque en la tasa de crecimiento diamétrico de las muestras de los árboles del sitio PRAMU ha existido una disminución en el valor mediano, las diferencias no son significativas. Obsérvese que también se ha producido una disminución en la dispersión y los máximos y mínimos han sido reducidos.

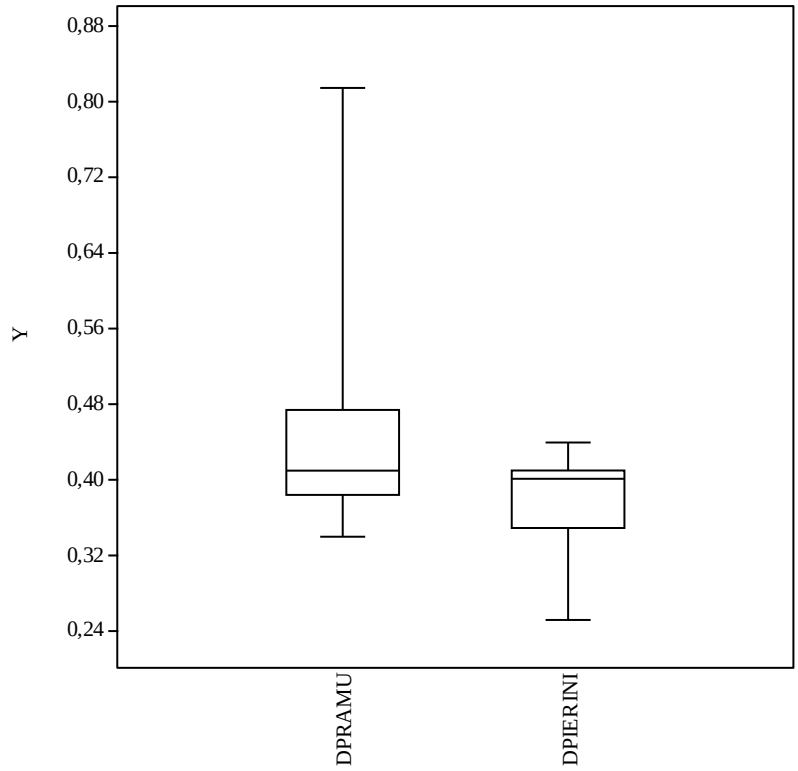


Figura 3. Distribución de la densidad de la madera de álamo criollo según el sitio de muestreo

Resulta fácil de ver en la figura 3 que la variabilidad de la densidad de la madera es alta en cada una de las circunstancias señaladas por los sitios de muestreo. La longitud de la caja es diferente y la ubicación de la mediana son similares, se diferencia la aparición de un valor extremo (alta densidad) entre el sitio PRAMU y el parque Pierini y la dispersión se nota mayor en el sitio PRAMU.

Discusión:

Las cortinas visitadas han carecido a lo largo de su historia de un adecuado manejo. Es común encontrar diferentes tipos de daños en los árboles en pie como cancros, pudriciones y puntas muertas, lo que posteriormente lleva a la caída de los árboles. Una característica importante en la cortina del parque Pierini es la alta pedregosidad en el suelo.

Hay un sin número de factores ambientales y de manejo que influyen en la tasa de crecimiento diamétrico de las especies forestales y un factor no menos importante es la densidad de siembra a la que se someten las plantaciones forestales, así el sitio PRAMU con 1110 àrboles/ha presentó la menor tasa de crecimiento en diámetro (0,55 cm/año) pero más alta densidad en la madera (0,45gr/cm^3). Las tasas de crecimiento fueron similares a las informadas para varios clones de àlamo en la zona de Esquel (Chubut), donde el crecimiento en diámetro fue de 0,51 a 1,99 cm/año, siendo el clon *P,nigra* `F-

V.de Garonne Sehuil`el de mejor rendimiento (Dave *et al*., 1993). Los crecimientos diamétrico en Patagonia Sur fueron inferiores a los registrados en otras regiones del país. Al Sur de Mendoza en suelos de textura arenosas hasta 60-70 cm de profundidad y distanciamientos de 6 m entre hileras y 4 m entre plantas, los crecimientos en diámetro de 4 clones de *Populus x canadensis* en 8 años fue de 18,7 cm (Calderón *et al*., 2009), en San Luis el clon *P. x canadensis* `Conti 12´plantado a un distanciamiento de 2x10m creció en diámetro a los 10 años 18,8 cm (Gómez *et al*., 2006).

No se determinó la densidad de la madera en todas las muestras debido al estado de deterioro que presentaban algunas de las muestras, el tamaño de muestra para el parque Pierini es bajo lo que puede explicar un poco porque la variabilidad es comparativamente más escasa. La distribución no normal de los datos de densidad, puede deberse a que la madera provenía de árboles caídos y no podemos restarle importancia a su preservación diferencial, sus procesos postdepositacionales es un dato realmente sensible esto a pesar de que se midió densidad a la madera sin signos aparentes de deterioro.

El valor promedio comercial para la densidad de álamo criollo es de 0,42g/cm^3 INTI (2003), los valores obtenidos para el sitio PRAMU a pesar de su dispersión (tabla 2) mediana 0,40 g/cm^3 (igual en los dos sitios) y media 0,45 g/cm^3 están muy cercanos a este valor. Este es un buen valor para determinar los usos de esta madera. A pesar de que son maderas consideradas de baja durabilidad, Spavento *et al*., (2010) considera que interesante evaluar la durabilidad de la madera de álamo criollo tratada con algún producto preservante disponible en el mercado, expuesta a diferentes condiciones, como así también evaluar su comportamiento físico – mecánico, a fin de plantear el reemplazo, en usos de carpintería rural de bajo valor agregado, de las maderas valiosas del bosque nativo. En lo que podemos plantear otra serie de beneficios como recurso energético para Malargüe etc.

Conclusiones:

Los diferentes sitios de muestreo no determinaron el desarrollo de los árboles que comprenden las dos cortinas forestales.

A pesar de sus diferencias la tasa de crecimiento de la densidad tuvo la misma variabilidad en los dos sitios.

La madera de los árboles de la zona oeste puede ser apta para aserrío y la del lado este puede ser usada para postes, debido a su mayor densidad. Aunque en términos generales las dos poblaciones se han comportado como una misma población P (*same variance*)=0,87005.

A pesar de que estos resultados no son el grueso del programa de investigación en dendroquímica, permitió entender que las cortinas forestales en Malargüe deben ser analizadas en potencia ecológica y económica.

Las cortinas forestales de Malargüe, deben ser analizadas a profundidad, debido a su deterioro y edad deben ser entresacadas y repobladas, además de que se deberían crear más.

Agradecimientos:
Personal de la CNEA-PRAMU, Malargüe. Ariel Marfil encargado del vivero Municipalidad de Malargüe y a Omar Rivero por toda la colaboración prestada en la obtención del material.

LITERATURA CITADA:

Achinelli, F. G., 2006. Silvicultura de álamos y sauces en la pampa húmeda. Actas Jornadas de Salicáceas 2006. 16 pp.

Calderón A., Riu N.E., Bustamante J.A., Pérez S.A, Zanetti R.P. (2009) Comportamiento de clones de álamos en San Carlos – Mendoza. Actas Jornadas de Salicáceas, 5 pp., Comisión Nacional del Álamo - Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Cuyo. Mendoza, 15-17 Abril 2009.

Gómez M., Bogino S., Corral A, Furlan Z., Escudero S. (2006) Crecimiento de *Populus x canadensis* 'Conti 12' en la Provincia de San Luis. Actas Jornadas de Salicáceas 2006, pp. 271-273. Buenos Aires

INTI, 2003. Densidad de maderas por nombre común. http://www.inti.gob.ar/maderaymuebles/pdf/densidad_comun.pdf

IRAM 9600, 1998. Preservación de maderas: Maderas preservadas mediante procesos con presión en autoclave. Instituto Argentino de Racionalización de Materiales. 23 pp.

Municipalidad de Malargüe. Mayo de 2007- Secretaría de Obras y Servicios Públicos Informe Técnico para la Macrozonificación De Los Usos Del Suelo En La Ciudad y Oasis De Malargüe.

Peri P.L., Bloomberg M. (2002) Windbreaks in South Patagonia- Growh models, windspeed reduction and effects of shelter on crops. Agroforestry Systems 56: 129-144.

Peri, P. y Martinez Pastur, G., 1998. Crecimiento en cortinas cortaviento de *Populus nigra c*v `Italica' en Patagonia Sur – Argentina. Investigación Agraria: Sistemas y Recursos Forestales 7(1-2): 73-83.

Spavento, Eleana; Keil, G., Nosetti, J; Monelos L., y Peri, P. (2010). Álamo criollo (*populus nigra* cv italica) impregnado como alternativa al uso de madera de *nothofagus spp e*n la provincia de Santa Cruz, Argentina. Ciencia e Investigación Forestal - Instituto Forestal / Chile. Vol 16 Núm 3.

MONITOREO SATELITAL DEL COMPLEJO VOLCANICO PLANCHON-PETEROA CON ASTER

Castro Godoy Silvia [a]

[a] *Sensores Remotos y SIG, IGRM, Servicio Geológico Minero Argentino(SEGEMAR)*

e-mail:silvia.castro@segemar.gov.ar

RESUMEN

El volcán Peteroa ha presentado actividad reciente y por sus características puede ser monitoreado con ASTER. Este sensor es idóneo para el estudio de la actividad volcánica y presenta ventajas sobre otros sensores debido a la mayor resolución espacial, espectral y radiométrica.
Se analizaron 45 imágenes nocturnas y 24 diurnas durante el período 2000 a 2014. Los datos nocturnos permitieron realizar el cálculo de la temperatura de las lagunas ubicadas en los diversos cráteres de explosión y observar la evolución de su comportamiento térmico, mientras que las imágenes diurnas permitieron el seguimiento de los cambios morfológicos e hidrológicos en el área de cráteres y lagunas.
Se realizó la corrección atmosférica y la separación de las bandas de emisividad y temperatura con el algoritmo TES Temperature and Emissivity Separation Algorithm y se compararon los resultados con los del algoritmo Emissivity Normalization de ENVI y se observó una diferencia de 5°C en promedio.
Para el período descripto se observa un cambio en el patrón de temperaturas de cráteres, lagos y fumarolas. Desde el año 2000 al 2003 las temperaturas mayores (32°C) se encontraban en las lagunas ubicadas hacia el este, dentro de la caldera, mientras que hacia el oeste se encontraron los valores más bajos (18°C); en el año 2004 las temperaturas de las lagunas se asemejan y a partir del 2005 se invierten migrando hacia el oeste los valores más elevados, sitio donde se produce la erupción en 2010. En este sector se mantiene un valor promedio de 32°C para los años 2011, 2012 y 2013; en la actualidad el patrón dominante es de bajas temperaturas en todo el sistema entre 3 y 11°C.

INTRODUCCION

Es reconocida la importancia de la teledetección en el monitoreo volcánico, debido principalmente a la ubicación remota de las áreas volcánicas, como la Cordillera de los Andes y la dificultad para acceder a ellas. ASTER (*Advance Space borne Thermal Emission and Reflection Radiometer*) fué diseñado especialmente para el estudio de los cambios ambientales entre ellos aquellos producidos por la actividad volcánica y presenta ventajas sobre otros sensores debido a la mayor resolución espacial y espectral.
El Servicio Geológico Minero Argentino (SEGEMAR) a través de un convenio de 5 años con la Agencia de Cooperación Internacional del Japón (JICA) y en el marco del Proyecto GEOSAT-AR seleccionó 5 volcanes, entre ellos Peteroa, para el seguimiento de la evolución de sus anomalías de calor, durante el período 2000 a 2005.
El volcán Planchón-Peteroa (35º 15’ S, 70º 35’ O), localizado en la provincia de Mendoza, pertenece al segmento de transición de la Zona Volcánica Sur y constituye la etapa más reciente en la evolución del Complejo Azufre-Planchón-Peteroa (ver Fig. 1).

En el anfiteatro del complejo se encuentran cráteres de explosión y lagunas con fumarolas, expresión superficial de la interacción del agua de fusión con el aporte de calor de cuerpos magmáticos que infrayacen al volcán lo que produce el desarrollo de un sistema geotermal. Es muy apropiado el monitoreo satelital con ASTER debido a las características radiométricas que posee este sistema y al tamaño de las anomalías de calor.

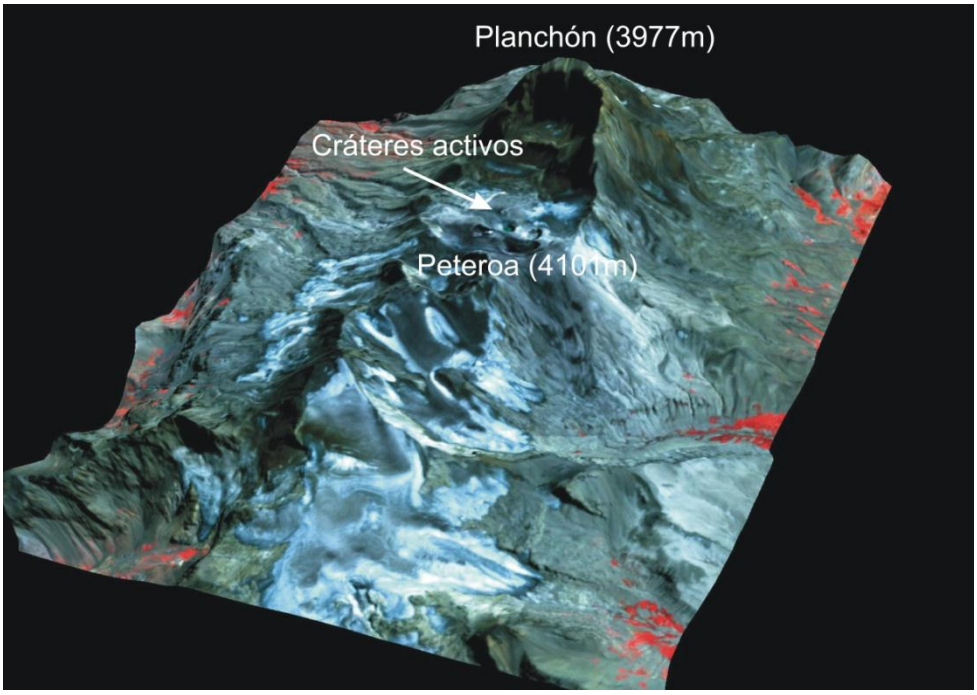


Figura 1. Imagen 3D del Complejo volcánico Planchón-Peteroa

Con posterioridad a la finalización del proyecto GEOSAT-AR y debido a la reactivación del volcán y erupción del 4 de setiembre de 2010 se retomó el seguimiento nocturno con el propósito de realizar el análisis de la nueva situación y la observación de los cambios morfológicos. El objetivo del presente trabajo es presentar los resultados del seguimiento satelital.

Características del Sensor

El sensor japonés ASTER fue diseñado especialmente para monitorear los cambios ambientales producidos en la superficie terrestre incluyendo aquellos producidos por la actividad volcánica. Se encuentra a bordo del satélite TERRA y fue lanzado al espacio en diciembre de 1999 por la NASA como parte del Sistema de Sensores de Observación Terrestre (EOS). Es considerado un sensor de última generación con alta resolución espacial, lo que significa que brinda información muy detallada (resolución espacial de 15m) y también posee alta resolución espectral es decir que capta información en muchas porciones del espectro electromagnético (14 bandas).
Está compuesto por 3 subsistemas o sensores VNIR (*Visible and Near Infrared*), SWIR (*Short Wave Infrared*) y TIR(*Thermal Infrarred*). Posee 3 bandas en el VNIR en el rango 0.52-0.60µ y posee una resolución espacial de 15m, 6 bandas en el SWIR entre los 1.6 y 2.43µ con 30m de resolución espacial y 5 bandas en el TIR en el rango 8.12 a

11.65μ de 90m de resolución. Cada escena o imagen ASTER cubre un área de 60 x 60 km.
Las bandas del VNIR se utilizan especialmente para la interpretación topográfica y geomorfológica debido a que posee dos telescopios, uno con visión nadir (el que realiza tomas en los rangos espectrales de las bandas 1, 2 y 3N) y otro adicional (figura 3) con vista hacia atrás (banda 3B) en la dirección orbital (*along track*), lo que permite la visión estereoscópica y la generación del Modelo Digital de Elevaciones (MDE) de alta precisión (Fujisada *et al*., 2001).
En la actualidad el subsistema SWIR no realiza adquisiciones debido al sobrecalentamiento de sus detectores.

METODOLOGÍA

Para el monitoreo satelital de volcanes se utilizan imágenes nocturnas nivel 1B, radiancia al sensor, para evitar la influencia de la luz solar en la respuesta radiométrica.
Las bandas térmicas permiten captar temperaturas en el rango ambiental hasta los 100°C, temperatura a la cual se produce la saturación de los detectores de este subsistema (Urai, 2002). Debido a los valores de temperaturas de las fumarolas, inferiores a 100°C, este volcán puede ser monitoreado con las bandas térmicas cuya resolución espacial es de 90m.
Las imágenes fueron procesadas mediante el software TES *Temperature and Emissivity Separation Algorithm* (Tonooka, 2001 y 2005) el que realiza la corrección atmosférica y la separación de las bandas de emisividad y temperatura en el rango termal. Las bandas térmicas son muy sensibles a los cambios atmosféricos de manera que esta corrección es sumamente importante. El programa trabaja con modelos de atmósfera, según modelos de transferencia radiativa MODTRAN, que incorpora valores de ozono, tomados del sensor TOMS y el contenido de vapor de agua y variaciones de temperatura en el perfil atmosférico sobre el área de estudio, éstos últimos tomados de una base global GDAS, *Global Data Asimilation System.*. Posteriormente se realiza la separación de las bandas en emisividad y temperatura absoluta. Esta banda de temperatura absoluta tiene un tamaño de pixel de 90m y la precisión es de 1°C.
Estas imágenes también fueron procesadas con ENVI para obtener el dato de temperatura con las bandas térmicas utilizando el algoritmo *Emissivity Normalization* para comparar los resultados de ambos métodos y estimar las diferencias entre ambos.
Con el objeto de visualizar las características geomorfológicas del complejo volcánico se utilizaron imágenes diurnas. En primer lugar se generaron los modelos digitales de elevaciones (MDE) del área y luego se ortorrectificaron las imágenes mediante el programa SILCAST, (V1.8) desarrollado por *Sensor Information Laboratory Corporation* en lenguaje IDL. El MDE tiene una alta resolución espacial donde los datos de elevación son extraídos cada 30 m e interpolados cada 1segundo; el error de altura es inferior a los 15m (Fujisada *et.al.* op.cit.). Luego los datos interpolados cada 15 m, 30 m y 90 m se utilizan para ortorrectificar las bandas de los subsistemas VNIR, SWIR y TIR respectivamente. La imagen generada posee proyección UTM y el dato de elevación está calculado sobre la base del geoide EGM96. La alta definición del subsistema VNIR (15m) permite monitorear el área de los cráteres de explosión donde se encuentran las lagunas con el campo fumarólico.

Análisis de Datos

Se realizó el seguimiento de las temperaturas de las fumarolas de las lagunas que se encuentran en los cráteres de explosión. Se han monitoreado tres lagunas que presentan mayor definición en las anomalías térmicas y a las que denominaremos con un número según la secuencia de formación: 1, 2, 3 y 4 (ver Fig.2).

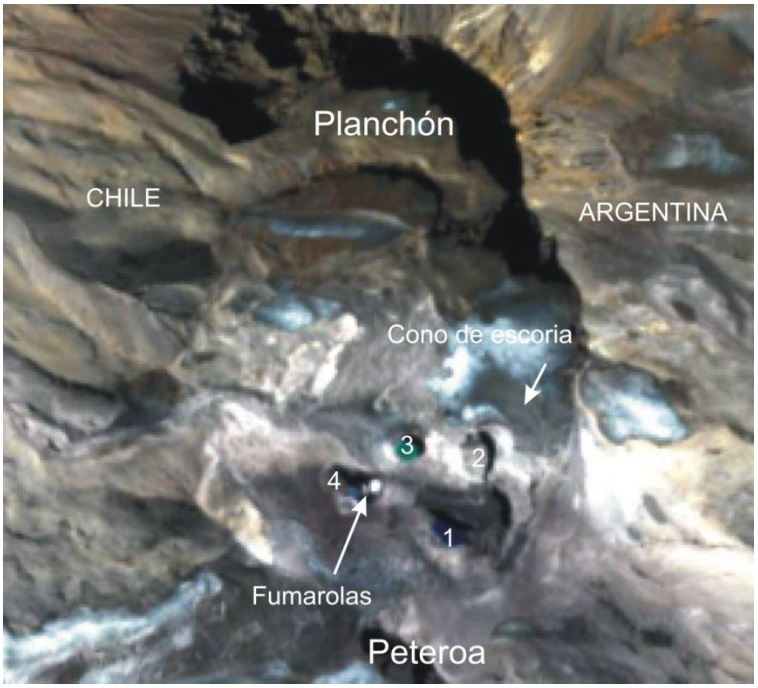


Figura 2. Ubicación de cráteres y lagunas. ASTER 7-3-2011

Imágenes nocturnas

De la comparación de los valores de temperatura obtenidos utilizando los métodos *Temperature and Emissivity Separation Algorithm* (TES) y *Emissivity Normalization* provisto por el programa de procesamiento digital de imágenes ENVI surge que los generados por TES están, en promedio para las 3 lagunas, 5 grados por encima de los valores de ENVI (ver Fig.3). Esta comparación fue realizada con los datos de las imágenes nocturnas entre 2001 y 2006 período en el que las anomalías estaban muy bien definidas y eran fácilmente identificables.

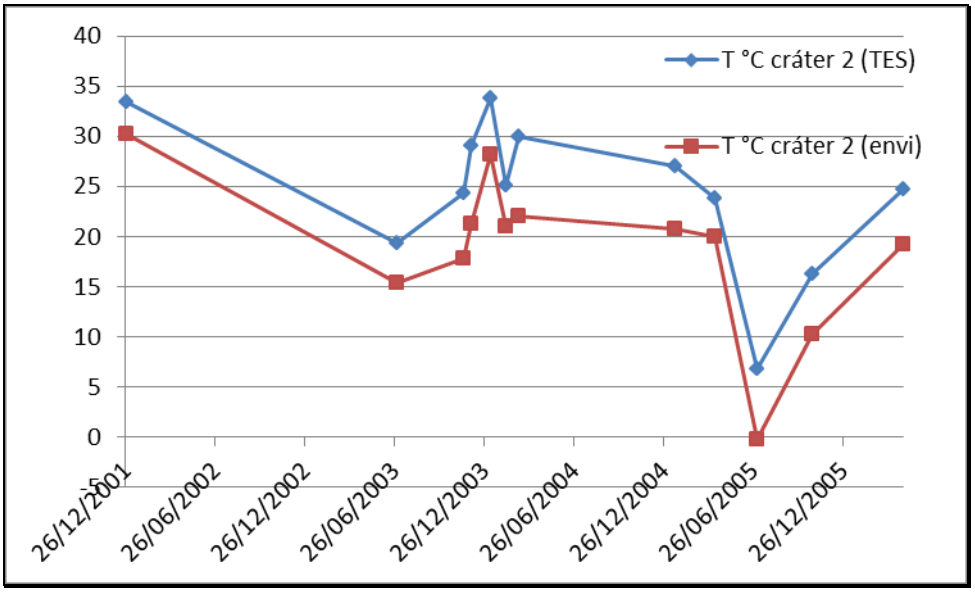


Figura 3. Comparación de los valores de temperaturas obtenidos con los algoritmos TES y *Emissivity Normalization* en la laguna ubicada en el cráter 2 (este).

En el gráfico (ver Fig. 4) se expresan los valores de temperaturas nocturnas desde el 2001 hasta el 2006. Los valores correspondientes a las fumarolas de la laguna del este (cráter 2) han sido los más elevados desde el 2001 hasta el 2004 (máximo de 30°C y media de 19°C). La laguna occidental (cráter 4) presenta, en general, los valores más bajos de temperaturas (máximo 21°C y media 11.6°C) y la laguna central (cráter 3) tiene también valores altos (máximo 29°C y media 16°C).

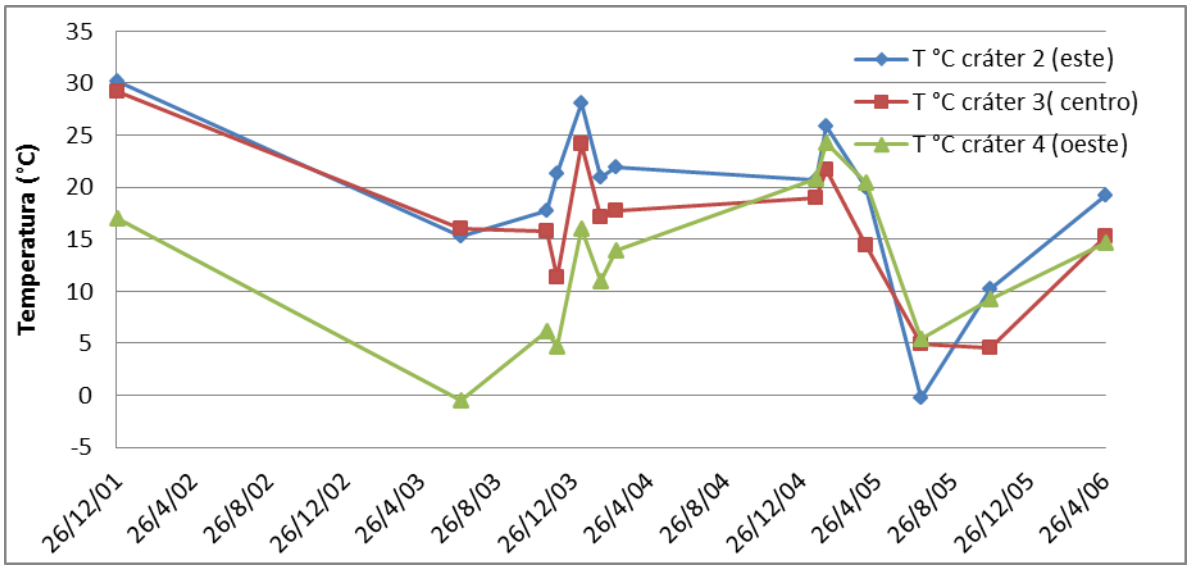


Figura 4. Historia térmica de lagunas cratéricas entre los años 2001 y 2006

Durante el verano del 2004, las lagunas presentaron un descenso de temperaturas desde el mes de enero hasta marzo (ver Fig. 5), momento en el que se produjeron explosiones y el desmoronamiento de un sector de la pared de la caldera.

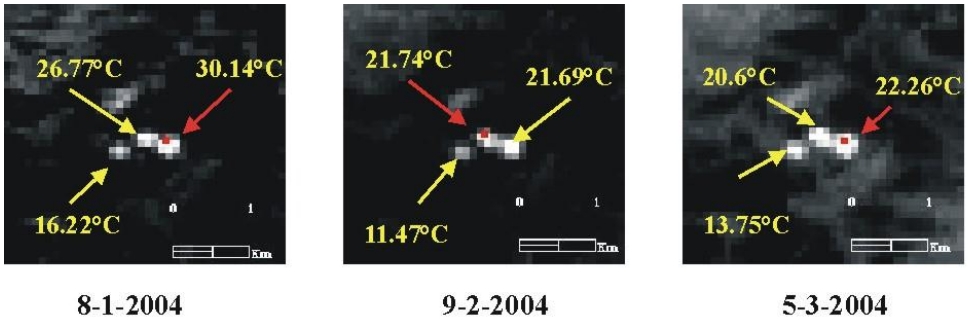


Figura 5. Variaciones de temperatura en imágenes nocturnas ASTER durante el verano del 2004

Imágenes diurnas

Al tratarse de una zona elevada con alturas entre 3300 y 3500m (ver Fig. 6) es usual la presencia de una cubierta nivo-glacial en el área de la cima con una disminución en el volumen durante los veranos e incremento en los inviernos. El perfil oeste-este, fue realizado en el área de los cráteres con las lagunas, a partir del modelo digital de elevaciones (MDE) de ASTER y muestra las características asimétricas del borde del cráter del complejo Planchón-Peteroa, con las mayores alturas hacia el este. La línea roja indica la depresión correspondiente al cráter 4 donde se produjo la última erupción.

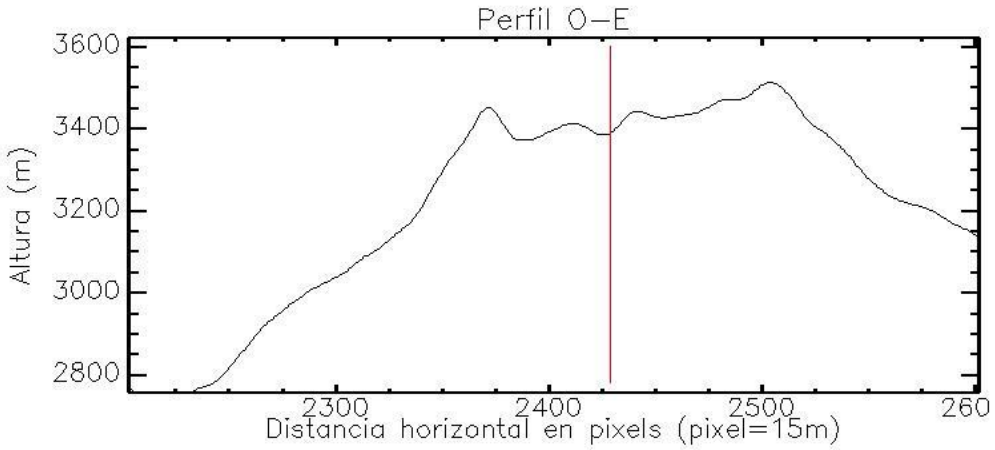


Figura 6. Perfil sobre el cráter del complejo Planchón-Peteroa, confeccionado a partir del MDE, ASTER.

En las imágenes se puede observar (ver Fig. 7) que particularmente en los veranos de los años 2008, 2010 y 2014 el área está desprovista de nieve.
En la imagen del 19 de setiembre de 2010, con posterioridad al inicio del ciclo eruptivo que comenzó el 4 de setiembre en el cráter 4, la cubierta de nieve y hielo es abundante y vemos la columna eruptiva orientada en dirección SE.
En el lapso 2006-2010 se registra un progresivo vaciamiento de las lagunas (con excepción del cráter 1) y migración de la actividad fumarólica hacia el cráter 4.
Las condiciones para el 27 de febrero del 2014 son de ausencia de cubierta nívea, nivel de agua bajo en las lagunas, sin actividad fumarólica aparente.

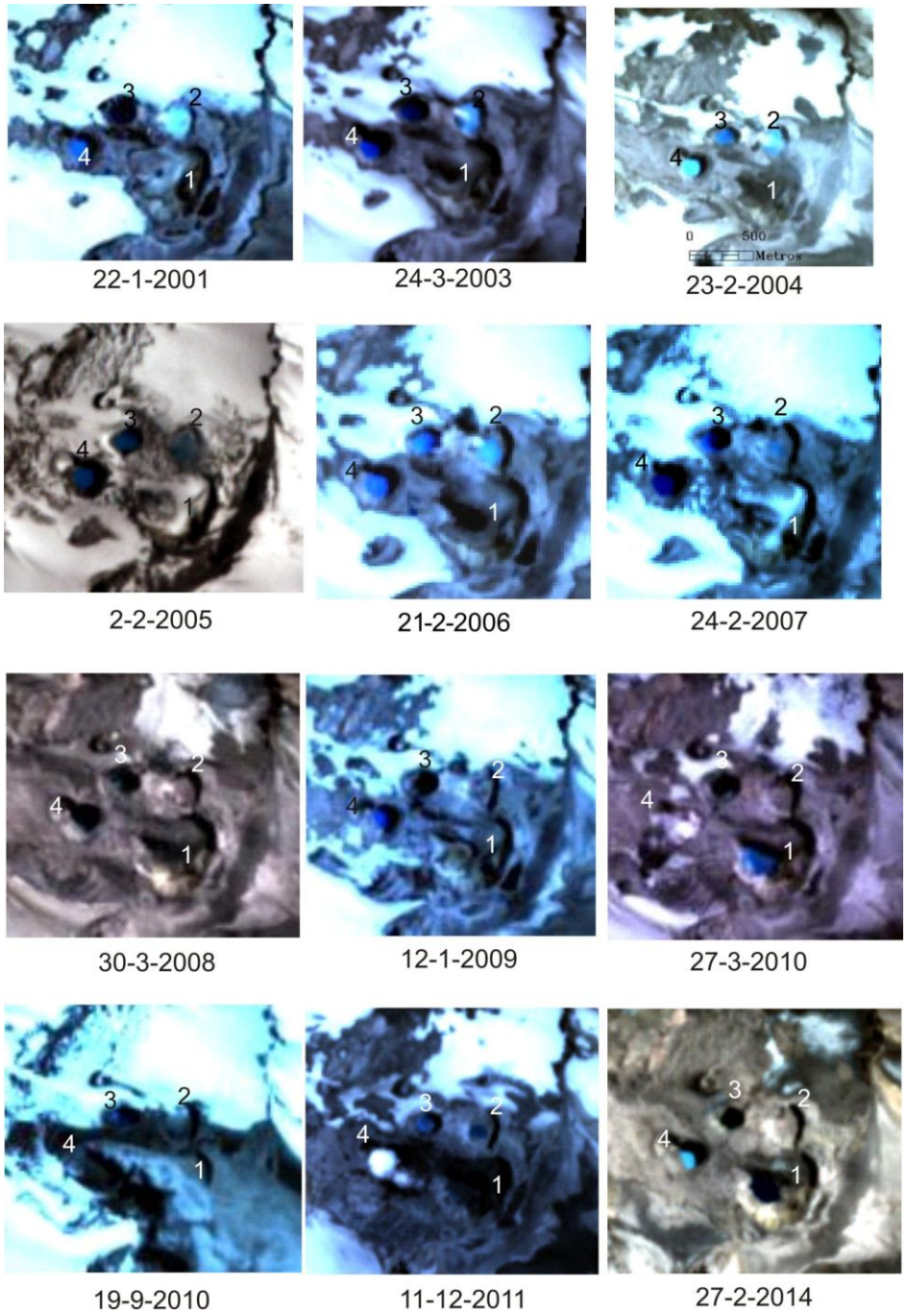


Figura 7. Área de cráteres con lagunas, fumarolas y columna eruptiva en imágenes ASTER diurnas.

Lamentablemente al finalizar el proyecto GEOSAT-AR que incluía el monitoreo volcánico de varios volcanes, entre ellos el Peteroa, no se realizaron nuevas tomas nocturnas de ASTER. Por este motivo no se dispone de estas escenas para el período marzo 2006 a enero del 2011. Al retomar el monitoreo satelital se programa la adquisición de nuevas escenas nocturnas y así se puede seguir la evolución de las temperaturas de las lagunas de los cráteres para el período 2011 a la actualidad

En el gráfico (ver Fig. 8) se puede observar la variación térmica que sufrió el sistema de lagunas en el que la laguna del cráter 4 presenta los valores más altos para todo este

período (máximo 28.3°C, media 11.2°C). Las lagunas de los cráteres 2 (máximo 9.3°C, media 2.7°C) y 3 (máximo 12°C, media 4.3°C) tienen valores más bajos y similares. Se debe tener en cuenta que en la media influyen los valores estacionales ya que a simple vista se observa en el gráfico los valores inferiores a 0°C para las imágenes tomadas en invierno.

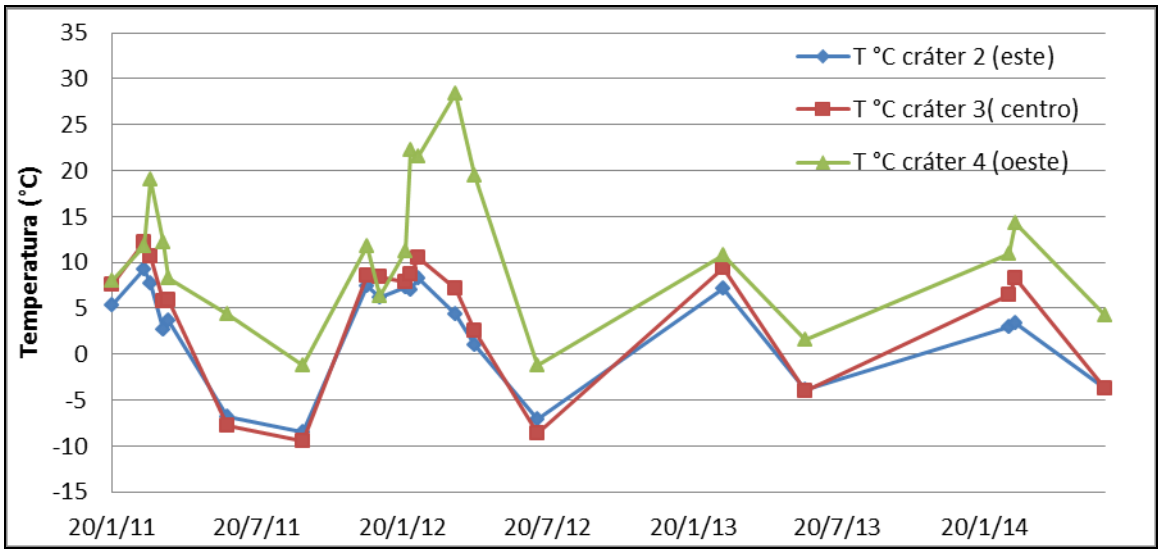


Figura 8. Historia térmica de las lagunas cratéricas entre los años 2011 y 2014

Al observar las imágenes nocturnas (ver Fig.9) se advierte que las conspicuas anomalías térmicas para el período 2001 a 2006 han perdido identidad en el año 2011, con posterioridad a las erupciones del 2010.

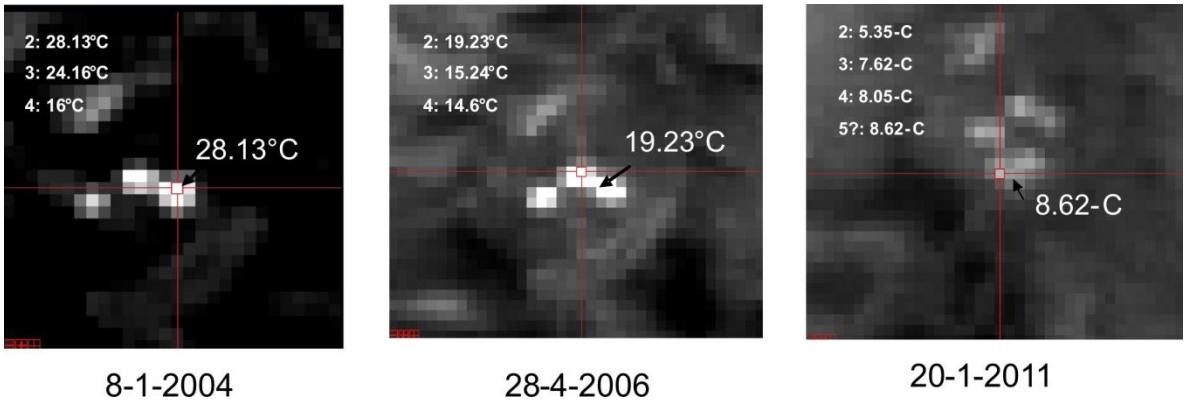


Figura 9. Evolución de temperaturas en imágenes nocturnas. Se indican las áreas con valores máximos.

Llama la atención hacia el SE del cráter 4 una nueva zona de anomalía calórica (ver Fig.10) que podría corresponder al área que Tromboto y otros, 2012 hacen referencia como posible cráter 6. En este recorte de una imagen nocturna del 6 de diciembre del 2011 se utilizó una paleta de colores llamada “rainbow” en la cual en color rojo se presentan los valores más altos de temperaturas y en azul los más bajos. La escena fue remuestreada a 10m para poder sobreimponerle curvas isotérmicas.

Hacia el norte también se puede apreciar un área más caliente que su contexto con dirección NE-SO, la cual ya fue advertida en las primeras imágenes procesadas del 2001.

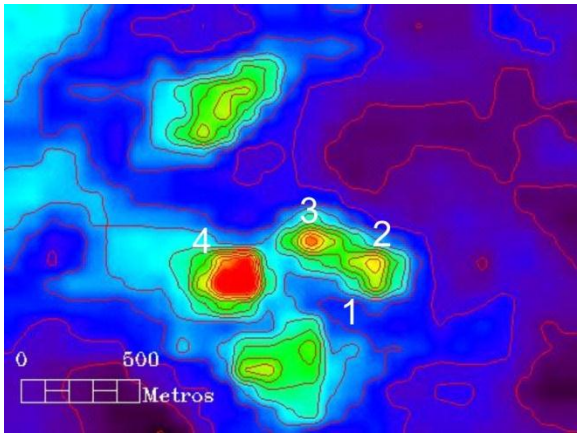


Figura 10. Imagen nocturna del 6-12-2011 remuestreada a 10m y curvas isotérmicas

RESULTADOS

Se procesaron 24 imágenes diurnas disponibles para el período mencionado y se generaron modelos de elevaciones para todas las escenas diurnas del volcán Peteroa lo que permitió la ortorrectificación de imágenes logrando una alta precisión espacial. Estas imágenes fueron utilizadas para la observación de las características geomorfológicas y del sistema térmico superficial que incluye lagunas, fumarolas y la pluma eruptiva del año 2010.

Utilizando imágenes nocturnas se realizó el seguimiento de las temperaturas de las fumarolas de las lagunas que se encuentran en los cráteres de explosión.

Se procesaron 45 imágenes nocturnas captadas durante el período 2000–2014 y se monitorearon tres de las lagunas que presentan mayor definición en las anomalías térmicas. Se presentan los valores de temperaturas nocturnas desde el 2000 hasta el 2014 en 2 gráficos.

Situación 1: Período 2000-2006
Los valores correspondientes a las fumarolas de la laguna del cráter 2 (este) han sido los más elevados desde el 2000 hasta el 2004. Desde el 2005 el patrón de temperaturas cambia y las temperaturas se asemejan progresivamente.
La laguna del cráter 4 (oeste) presenta en general los valores más bajos de temperaturas para este período mientras que la laguna central presenta valores intermedios a altos.

Situación 2: Perído 2011-2014
En la figura 8 se observa claramente la inversión de temperaturas entre las lagunas de los cráteres 2 y 4 poniendo de manifiesto cambios en el sistema.
La laguna del cráter 4 presenta los valores superiores a las otras 2 lagunas hasta la actualidad, aunque las 3 han perdido identidad. Desde principios del año 2011 se observa una nueva zona de anomalía calórica ubicada al SE del cráter 4 que se mantiene hasta la actualidad.

DISCUSIÓN

El cálculo satelital de temperatura superficial de lagos cratéricos está influenciado por múltiples variables como la presencia y cercanía de nubes, precisión de los modelos de atmósfera, variables climáticas estacionales como velocidad del viento, radiación solar, temperatura del aire, la presencia de glaciares y nieve en el contexto. Sin embargo utilizando el método TES como *Emissivity Normalization* las tendencias en las temperaturas se mantienen y son coincidentes, lo que implica que a pesar de las diferencias de hasta 5 grados entre los dos métodos, ambos permiten advertir el cambio e inversión en el patrón de temperaturas de las lagunas.

CONCLUSIONES

- ASTER es una herramienta útil para el seguimiento de anomalías de calor de lagos cratéricos en zonas de difícil acceso como es el caso del Complejo Planchón-Peteroa.
- El sistema de lagunas del Peteroa sufrió cambios en la distribución de temperaturas desde el año 2005, con incremento de los valores en la laguna del cráter 4 (oeste) coincidente con el cráter donde se produjo la erupción del 4 de setiembre de 2010.
- Asimismo se produjo el descenso de los valores de temperaturas en el cráter 2 (este).
- Esto podría sugerir la movilización de la fuente de calor interna desde el este hacia el oeste.
- Sería muy importante la validación de campo de los datos de temperatura así como la complementación con otras técnicas de monitoreo volcánico como el seguimiento de la actividad sísmica y química de gases para una interpretación integral del sistema volcánico.

REFERENCIAS

Fujisada, H., Iwasaki A. y Hara S. 2001. ASTER stereo system perfomance. International Society for Optical Engineering SPIE Proc. 4540: 39-49.

Tonooka H., 2001. An atmospheric correction algorithm for thermal infrared multispectral data over land. A water vapor scaling method, IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, Vol. 39, No. 3, 682-692

Tonooka H., 2005. Accurate atmospheric correction of ASTER thermal infrared imagery using the Water Vapor Scaling method, IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, Vol.43, No.12, 2778-2792.

Trombotto Liaudat D., Penas P. Blöthe J. y Hernández J., 2012. Monitoreo termo-geomorfológico de la cumbre del Complejo Volcánico Peteroa, Mendoza, Argentina. Cuadernos ICES 6, Comisión Nacional de Energía Atómica.70p.

Urai M. 2002. Global volcano Observation Plan and a Volcano Image Database with ASTER. ASTER Science Team Meeting. ASTER Waorkshop. Aoyama TEPIA, Tokyo, Japan.

APROXIMACIÓN DE FERMAT-ALFVÈN PARA ONDAS MHD

Castro J. I.[a,b] *y Francile C.*[a]
[a]*Observatorio Astronómico Félix Aguilar, FCEFN, Univ. Nac. de San Juan, ARGENTINA*
[b]*Departamento de Física y Química, FFHA, Univ. Nac. de San Juan, ARGENTINA*

e-mail: jicastro@uolsinectis.com.ar

RESUMEN

Se describe un método perturbativo para ondas MHD en plasmas de bajo β_p, basado en el Principio de Fermat de tiempo extremo. Se ejemplifica con un caso simple en primer orden de perturbaciones, el cual se compara con el modelo de Uchida (1968) que describe las ondas de Moreton (1960) en cromosfera solar. Los resultados son alentadores y el presente método parece ser extendible a órdenes de perturbación superiores y a modelos diferentes del de Uchida.

INTRODUCCIÓN

En este trabajo presentamos un método perturbativo general, basado en el principio de Fermat, para analizar la propagación de ondas magneto-hidrodinámicas (MHD) en plasmas de bajo β_p, desarrollando el primer orden de perturbaciones en dicho parámetro. A modo de ejemplo se comparan nuestros resultados con los del modelo coronal que Uchida (1968, 1973) utilizó para explicar las ondas de Moreton (1960), en la cromosfera solar. Consideramos una cromosfera plana y campo magnético radial y densidad de plasma coronal dependientes sólo de la coordenada radial z: $\mathbf{B} = \mathbf{B}(z)$ y $\delta = \delta(z)$. Se asigna coordenada $z \equiv z_0$ al plano cromosférico, donde z_0 es el radio solar, y se define el sistema cartesiano ortogonal de coordenadas (x,y,z) con origen en el centro del Sol. En estas condiciones de simetría se puede estudiar la propagación de las ondas MHD en la corona como un problema bidimensional (2-D) en el plano (x,z).

EL MÉTODO

Existen tres modos posibles de propagación de ondas MHD armónicas: el modo de Alfvèn y los modos magneto-sónicos rápido y lento, con relaciones de dispersión $\omega = v_f(\mathbf{k})\, k$ entre la frecuencia ω y el vector de onda $\mathbf{k}$ que dependen de la velocidad de fase $v_f(\mathbf{k})$ de cada modo; en nuestro problema 2-D y con las coordenadas cartesianas elegidas es:

$$v_f = v_f(\dot{x}, z) = \begin{cases} v_A(z)\cos\varphi(\dot{x}) & \text{modo de Alfvén} \\ \sqrt{\alpha(z)[1 \pm \sqrt{1-\beta^2(z)\cos^2\varphi(\dot{x})}]} & \text{modos magneto - sónicos (r y l)} \end{cases}$$

La dependencia en **k** viene a través de $\cos\varphi$ = **k** · **B** donde **B** es el campo magnético local. El punto indica derivación respecto de *z* y ◌*x* la derivada en la dirección de **k**. Las funciones $\alpha(z)$ y $\beta(z)$ dependen de las velocidades del sonido v_S y de Alfvèn v_A:

$$v_S^2(z) = \gamma\frac{P(z)}{\delta(z)} \quad , \quad v_A^2(z) = \frac{B^2(z)}{\mu_0\delta(z)} \quad , \quad \alpha = \frac{v_S^2 + v_A^2}{2} = \alpha(z) \quad , \quad \beta = \frac{2\,v_S v_A}{v_S^2 + v_A^2} = \frac{v_S v_A}{\alpha} = \beta(z)$$

donde *P* es la presión termodinámica, δ la densidad del plasma, γ el exponente adiabático y μ_0 la permeabilidad magnética del vacío.

Nuestro número β se relaciona también con el número "beta de plasma" β_p, definido por el cociente entre la presión termodinámica y la presión magnética:

$$\beta_p = \frac{P}{P_{mag}} = \frac{n\,k_B T}{(B^2/2\mu_0)} = \frac{2}{\gamma}\frac{v_S^2}{v_A^2}$$

En la zona coronal de interés β_p es mucho menor que uno (Aschwanden, 2004), y en esas condiciones también lo es nuestro β.

Según el principio de Fermat, el tiempo de propagación de las ondas MHD entre dos puntos (0 y 1) de la corona debe ser mínimo, es decir que debe ser extrema la integral de camino para el tiempo

$$t = \int_0^1 \frac{ds}{v_f(x,\dot{x},z)} \quad \therefore \quad t = \int_{z_0}^{z_1} \frac{dz}{\cos\varphi(\dot{x})\,v_f(x,\dot{x},z)}$$

lo cual plantea un problema variacional para el cual debe encontrarse la ecuación de Euler-Lagrange, que una vez integrada dará la trayectoria de los rayos:

$$t = \int_{z_0}^{z_1} L(x,\dot{x},z)dz \quad , \quad \delta t = 0 \quad \Rightarrow \quad \frac{d}{dz}\left(\frac{\partial L}{\partial \dot{x}}\right) - \frac{\partial L}{\partial x} = 0$$

Para nuestras ondas MHD, el lagrangiano es cíclico en la variable x: $L = L$ (◌*x*, *z*).

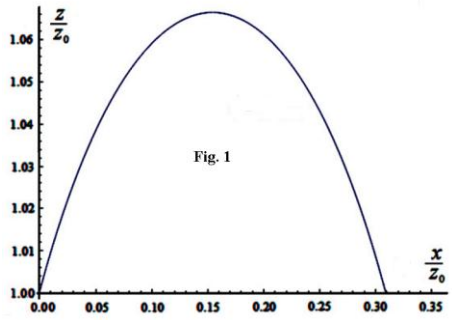
Siendo $\beta << 1$ la velocidad de fase v_f puede ser desarrollada en serie de potencias de β, dando lugar a diferentes ordenes de aproximación para la función lagrangiana. En el presente trabajo desarrollamos el orden más bajo de aproximación. Con estas condiciones es inmediato determinar la posición final de los rayos y el tiempo que demoran en ser recorridos. En nuestro caso:

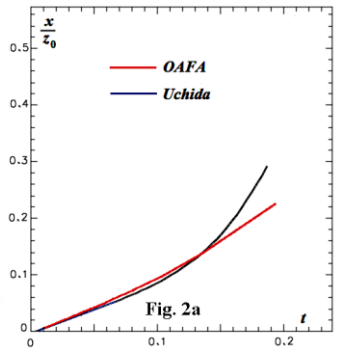
$$x(z) = 2\sqrt{2}\int_{z_0}^{z}\sqrt{\frac{a^2\,\alpha(z')}{1-8\,a^2\,\alpha(z')}}\,dz' \quad \therefore \quad t = \frac{1}{\sqrt{2}}\int_{z_0}^{z}\frac{dz'}{\sqrt{\alpha(z')[1-8\,a^2\,\alpha(z')]}}$$

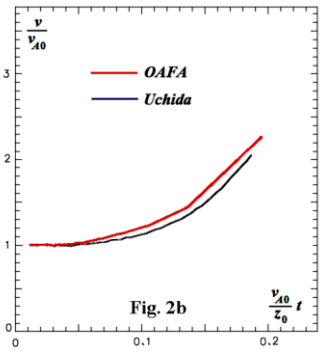
Aquí *a* es una constante de integración que depende de la pendiente inicial del rayo.

RESULTADOS

Tomando como referencia el modelo de Uchida (1973) para contrastar con nuestros resultados, en el modo magneto-sónico rápido que fue considerado por dicho autor, nuestros resultados comparan de modo cualitativamente semejante. Por ejemplo en la Fig. 1 se observa la reflexión en la corona del rayo magneto-sónico rápido, y en la Fig. 2 se aprecian la posición final del rayo sobre cromosfera en función del tiempo de llegada a dicha posición, y la velocidad asociada, comparadas con la propagación de las ondas Moreton del modelo de Uchida. Así, nuestro cálculo permite estudiar fenómenos de propagación MHD en plasmas con precisión comparable a la del modelo de Uchida en primer orden, y permite ser extendido a órdenes superiores y a otros modelos diferentes del de Uchida.







REFERENCIAS

Aschwanden, M., *Physics of the Solar Corona. An Introduction with Problems and Solutions*, Springer-Praxis, UK, 2005

Moreton, G., "Hα observations of flare-initiated disturbances with velocities ~1000 km sec^{-1}", *Astronomical Journal*, 65, 494-495, 1960

Uchida, Y., "Flare-Produced Coronal MHD-fast mode wavefronts and Moreton's wave phenomenon", *Solar Physics*, 28, 495-516, 1973

CARACTERIZACIÓN GEOMECÁNICA DEL SUBSUELO DEL CENTRO URBANO DE MORÓN - PCIA DE BUENOS AIRES

Celentano G. A.[a], *Lanfranco R. L.*[b], *Zanini C. D.*[b]

[a]*Laboratorio de Geotecnia, Facultad de Ingeniería, Universidad de Morón, ARGENTINA*
[b]*Departamento de Ingeniería, Facultad de Ingeniería, Universidad de Morón, ARGENTINA*

e-mail: ingacele@gmail.com

RESUMEN

Debido al notable crecimiento demográfico y consecuentemente al aumento de las actividades económicas ocurridas en el Centro de la Ciudad de Morón (durante los últimos 20 años), se produjo un importante desarrollo edilicio para cubrir las necesidades habitacionales y comerciales de esta zona pujante del Gran Bs As.

El diseño arquitectónico dinámico, variado y moderno de las construcciones que se vienen realizando, requiere un mejor estudio y conocimiento de las características geomecánicas del subsuelo, para interpretar con mayor grado de seguridad la interacción suelo-estructura.

A los fines de perfeccionar el conocimiento del subsuelo del Centro de la Ciudad de Morón, específicamente definiendo la estratigrafía, las propiedades índice de cada unidad geológica, las propiedades hidráulicas, mecánicas y sus diferentes comportamientos bajo carga, se ejecutaron dentro del área definida para el estudio, perforaciones con toma de muestras por cada metro de profundidad auscultado, las que fueron ensayadas en el Laboratorio de la Facultad. Las perforaciones fueron localizadas en lugares representativos del área bajo estudio, y se complementaron con ensayos in situ para caracterizar geomecánicamente a cada estructura. Adicionalmente, en cada sondeo se instalaron piezómetros para medir sistemática y periódicamente las probables fluctuaciones de la napa freática y su influencia en la capacidad de carga de los suelos.

Con la información obtenida de los trabajos de campo y de gabinete, de los resultados de los ensayos de laboratorio y los requisitos de las estructuras en general, se procedió a ponderar la información, a integrarla y complementarla con los aportes de la Geotecnia e Ingeniería de Fundaciones para así modelar la situación en estudio, analizar y determinar los requisitos que deben cumplir las estructuras u obras a realizar, tanto en su proceso constructivo como en su condición de servicio, para asegurar un factor de seguridad adecuado para prevenir el deterioro o ruina durante su vida útil.

INTRODUCCIÓN

Durante los últimos cien años la zona del Gran Buenos Aires de la República Argentina que incluye la Capital Federal y diecinueve distritos ha sufrido un proceso de crecimiento demográfico y de actividades económicas muy intenso, constituyendo uno de los conglomerados urbanos más densos del mundo.

La Región Metropolitana concentra, en casi 4.000 km2, a la tercera parte de la población del país y aproximadamente la mitad de sus actividades económicas, amén del hecho de incluir en su territorio a la Ciudad Autónoma de Buenos Aires, sede del Gobierno Nacional.

Este desarrollo se vió reflejado en la construcción de gran cantidad de edificios de viviendas multifamiliares, muchos de ellos con 2 o 3 subsuelos para cocheras, y otras

estructuras de arquitectura e ingeniería como por ejemplo el soterramiento del F.F.C.C., naves industriales, condominios, cancha de fútbol del Club Morón, etc.
En consecuencia, se considera muy importante conocer el subsuelo donde apoyarán las nuevas estructuras, con el objeto de predecir el comportamiento del sistema suelo-estructura, prever posibles asentamientos de las mismas, y estimar convenientemente los costos de las fundaciones, evaluando las posibles problemáticas geotécnicas.

MÉTODOS O DESARROLLO EXPERIMENTAL

El objetivo del trabajo fue:

1 Ejecutar perforaciones de diez (10,00) metros de profundidad, para obtener muestras de suelo por cada metro de profundidad auscultado.

2 Realizar calicatas de tres (3,00) metros de profundidad para calar a distintas profundidades panes de suelo (DAMA) para posteriormente en el laboratorio moldear probetras que serán ensayadas al corte.

3 Ensayar en el laboratorio las muestras obtenidas de las perforaciones y las calicatas para estudiar y analizar las características geomecánicas del suelo.

Planteo del Problema

Se realizaron diez (10) sondeos mecánicos de diez (10) m de profundidad cada uno, para el cabal conocimiento del medio, medición y seguimiento de la napa freática y simultáneamente facilitar al mismo tiempo el estudio de suelos mediante los ensayos in situ y extracción de muestras durante la operación de perforación, escogiendo por el método S.P.T. descripto precedentemente.

Se determinó la secuencia y el espesor de los diferentes estratos por reconocimiento tacto visual de los suelos extraídos (ASTM D 2488, IRAM 10500).

Al finalizar cada perforación se limpió y vació el lodo en suspensión para poder medir el nivel de la napa freática luego del abatimiento y recuperación natural del agua subterránea.

Análisis de Datos

La región en la cual se encuentra localizado el Partido de Morón, en líneas generales, presenta condiciones adecuadas para el establecimiento de una gran urbe. Posee un relieve suave, buena provisión de agua subterránea y superficial, suelos de excelente calidad agropecuaria, ausencia de grandes peligros naturales potenciales y provisión de materiales aptos para la construcción.

A diferencia de los suelos del área rural donde interesa fundamentalmente la aptitud de los mismos para la producción agrícola, en las zonas urbanas el interés está dirigido a su comportamiento en las fundaciones, es decir a sus características geotécnicas.

La ingeniería geotécnica emplea clasificaciones basadas en las propiedades mecánicas y comportamientos hidráulicos de los materiales. A su vez de acuerdo al tamaño de las partículas se han hecho clasificaciones granulométricas.

Las clasificaciones granulométricas consideran las proporciones relativas de las tres fracciones granulométricas principales (arcilla-limo-arena). El «Sistema Unificado de

Clasificación de Suelos (SUCS)» desarrollado por A. Casagrande, es el que mejor satisface los diferentes campos de aplicación de la Mecánica de suelos. De acuerdo a esta clasificación los suelos se dividen en tres grupos: de grano grueso, de grano fino y orgánicos. A su vez cada uno de estos grupos se subdivide de acuerdo a un análisis más detallado de sus componentes. Sobre esta base se determinan sus propiedades tales como la plasticidad, y su capacidad de carga.

Los suelos de grano grueso pueden ser gravas (G) o arenas (S), los que a su vez pueden estar W (bien graduados, con tamaño de granos bastante uniformes) ó P (pobremente graduados, con tamaño de granos variable).

Los suelos finos se clasifican en tres grupos: limos inorgánicos (M), arcillas inorgánicas (C), y limos y arcillas orgánicas (O). A su vez cada uno se subdivide según tengan límites líquidos menor del 50% (L) o mayor del 50% (H).

Las diferencias entre arcillas inorgánicas C y limos inorgánicos M y los suelos orgánicos O sé efectúan comparando sus propiedades elásticas.

Cuando se aplican distintos esfuerzos, los suelos pueden deformarse hasta ciertos límites, los que dependen fundamentalmente de sus contenidos en arcillas y humedad.

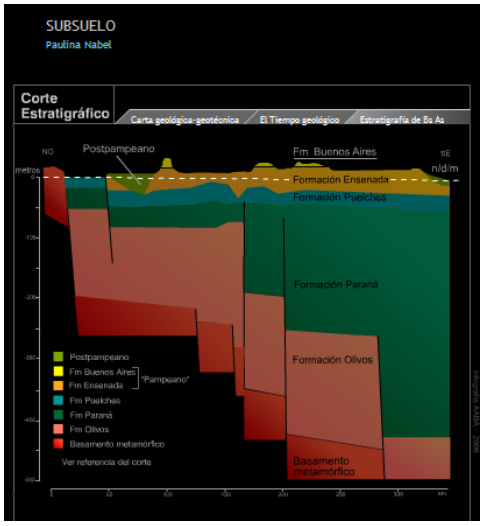
Aquellos con altos contenido de arcilla CH y CL generalmente presentan mayores índices de plasticidad que los que tienen mayor contenido en limo MH e incluso los orgánicos OL y OH.

Por debajo de los 6 msnm ocupando los valles fluviales principales y la planicie estuárica del río de la Plata, aparecen depósitos limo-arenosos de la Fm. Luján, de tipo ML de baja plasticidad y MH de alta plasticidad en los sedimentos arcillosos marinos del “querandinense”. Todos los terrenos ubicados en cotas inferiores a 6 m poseen características desfavorables para la urbanización, dado las proporciones variables de arcillas expansibles y las malas condiciones de permeabilidad. Estos materiales aparecen principalmente en la zona norte; por lo que al menos parte de los problemas edilicios en esa zona se deben a las características geotécnicas del sustrato.

Debe tenerse presente que las áreas de relleno ganadas al río son terrenos inestables y poseen altas tasas de subsidencia. A su vez, la presencia de sedimentos arcillosos y la humedad propia de estas áreas dificulta la compactación de los terrenos. Las mencionadas características generan limitaciones en la construcción de grandes obras por debajo de los 5 msnm.

La historia geológica de una región se reconstruye a través del estudio de la composición y distribución de las rocas, los sedimentos y los fósiles que se encuentran en el subsuelo. Es una historia de cambios, que permite comprender cómo fue evolucionando la región hasta adquirir su configuración actual y cómo interactúan los diferentes componentes del sistema terrestre. Son muy variadas las implicancias de este conocimiento. Desde dar respuesta a cuestiones referidas a cambios globales pasados, para proyectar escenarios futuros, hasta comprender que las propiedades de los sedimentos determinan la aptitud de los suelos para los cultivos o para la fundación de construcciones.

La distribución espacial de las unidades geológicas está indisolublemente vinculada al desarrollo temporal. Es así que las unidades más antiguas se encuentran por debajo de las más modernas, salvo que se hayan producido fallamientos ó plegamientos (movimientos tectónicos) que hayan distorsionado la superposición de los estratos.



El subsuelo de la llanura en la región está constituido por cuatro grandes depósitos sedimentarios, que se asientan sobre el antiguo basamento cristalino. Cada uno de esos depósitos representa un ciclo de sedimentación, ocurrido en distinto momento de la historia geológica de la región, los que a su vez, como se observa en el esquema, han sido afectados por reiterados fallamientos que pusieron en contacto lateral unidades más antiguas con otras más modernas.

Cada uno de los mencionados ciclos de sedimentación se produjo en condiciones ambientales diferentes, por lo que la composición de sus sedimentos difiere y es precisamente esas características composicionales y texturales, las que dan la clave para la reconstrucción de la historia geológica.

La descripción del perfil estratigráfico del área bajo estudio, se realiza aquí sobre la base de los datos contenidos en las planillas de las perforaciones realizadas e incluidas al final del Informe, en donde se ha sintetizado toda la información generada en el presente estudio, tanto en campo como en laboratorio.

Los sondeos realizados mostraron que se trata de un subsuelo de fundación bastante parejo, tanto por textura y por plasticidad de los sedimentos que lo forman, como por la compacidad relativa del mismo.

Desde el punto de vista mecánico (compacidad de los estratos) se trata de un perfil de suelos “Blandos” entre medio (0,50) y tres (3,00) metros de profundidad; “Compactos”

a los cuatro (4,00) metros de profundidad; y “Duros” a partir de esa cota hasta los diez (10,00) metros de profundidad.

No se ha detectado un manto intercalado de suelo extremadamente blando (0<N<2) de los llamados “críticos” y/o “peligrosos” (0,00< σadm<0,20 kg/cm2) que puedan sufrir asentamientos notables y/o diferenciales perjudiciales que llevan a dañar las partes estructurales de la obra de referencia prevista a levantarse sobre los mantos de suelos predominantes en el lugar estudiado.

En el aspecto físico (composición de los estratos) los suelos predominantes son arcillas limosas, de color castaño y de mediana plasticidad en los primeros tres (3,00) metros de profundidad; y limosos de color castaño y de mediana o baja compresibilidad a partir de allí hasta los diez (10,00) metros de profundidad

Los análisis físicos-mecánicos han permitido individualizar varios tipos de suelo que poseen las siguientes propiedades típicas sobresalientes:

Tabla 10: Características de los suelos encontrados.

SUELO		PROP. FÍSICAS				PROP. HIDRÁULICAS				PROP. MECÁNICAS				
Símbolo	**Grupo**	**Color**	**Textura**	**Minerales accesorios**	**Contrac./Expansión**	**Efecto de hela-das**	**Capilaridad**	**Permeabilidad**	**Drenaje**	**Elasticidad**	**Cohesión**	**Fricción**	**Resistencia en seco**	**Valor Cimentación**
ML	Limos inorgánicos, arenas finas, con limo o arcilla	Castaño	Terrosa	Calcáreo	Baja a	Medio	Alta	Baja	Regular a Malo	Media	Alta	Media	Alta	Bueno
CL	Arcillas inorgánicas de mediana plasticidad	Castaño	Terrosa	No tiene	Media	Medio a Alto	Baja	Muy Baja	Casi impermeable	Baja	Alta	Baja	Mediana	Regular a Malo

RESULTADOS

SONDEO Nº 1

Fecha	Ubicación	Sistema de Perf.	Cota de inicio	Napa Freática (m)	Muestra (Nº)	Profundidad (m)	Descripción Litológica	Color Visual	Color Munsell	Consistencia Relativa (Cr) o Densidad Relativa (Dr)	Simbología SUCS	Índice de Plasticidad	Nº de Golpes (N)	Resistencia a la Penetración (N)	Penetración (cm)	CONTENIDO DE AGUA	GRANULOMETRÍA	DENSIDAD γ_s (t/m³)	DENSIDAD γ_h (t/m³)	DENSIDAD γ_d (t/m³)	COMPRESIÓN ϕ_p (kg/cm²)	COMPRESIÓN ε (%)	COMPRESIÓN c_u (kg/cm²)	COMPRESIÓN ϕ_u (°)
						0,0	N.T.N.									Límite Líquido Límite Plástico Humedad Natural	Tamiz Nº 3" / Tamiz Nº 4 Tamiz Nº 2" / Tamiz Nº 10 Tamiz Nº 1" / Tamiz Nº 40 Tamiz Nº 1/2" / Tamiz Nº 100 Tamiz Nº 3/8" / Tamiz Nº 200							
12/03/2013	Muestra Nº 54	Retroperfusión con inyección de agua	+0,40 respecto nivel de calle	-2,30 m respecto a N.T.N.	1-1	0,5	Suelo vegetal	Negro																
					1-2	1,0	Arcillo limoso	Castaño	5YR 7/4 pink	Blanda	0,92	CL	23,7	3		45				2,68	1,83	1,43			5,34	0,00
					1-3	2,0	Arcillo limoso	Castaño	2.5YR 7/6 light red	Medianamente Compacta	0,76	CL	19,2	5		45				2,67	1,85	1,42	6,22	2,80		
					1-4	3,0	Arcillo limoso	Castaño	7.5YR 7/4 pink	Medianamente Compacta	0,74	CL	18,9	7		45				2,71	1,87	1,46			11,23	0,00
					1-5	4,0	Arcillo limoso	Castaño	5YR 5/8 yellowish red	Compacta	0,96	CL	21,4	9		45				2,69	1,89	1,52			12,35	0,00
					1-6	5,0	Arcillo limoso	Castaño	5YR 6/8 reddish yellow	Compacta	0,92	CL	19,9	11		45				2,70	1,90	1,54			11,98	3,56
					1-7	6,0	Limo arcilloso	Castaño	2.5YR 7/8 light red	Compacta	1,27	ML	11,0	10		45				2,68	1,90	1,52			6,57	10,76
					1-8	7,0	Limoso	Castaño	5YR 6/6 reddish yellow	Dura	1,28	ML	3,9	40		38									
					1-9	8,0	Limoso	Castaño	2.5YR 7/8 light red	Dura	2,20	ML	8,2	40		39									
					1-10	9,0	Limoso	Castaño	5YR 6/8 reddish yellow	Dura	1,98	ML	9,1	40		40									
					1-11	10,0	Limoso	Castaño	2.5YR 7/7 light red	Dura	3,93	ML	2,8	40		36									
							Límite de Perforación																		

SONDEO Nº 2

Fecha	Ubicación	Sistema de Perf.	Cota de inicio	Napa Freática (m)	Muestra (Nº)	Profundidad (m)	Descripción Litológica	Color Visual	Color Munsell	Consistencia Relativa (Cr) o Densidad Relativa (Dr)	Simbología SUCS	Índice de Plasticidad	Nº de Golpes (N)	Resistencia a la Penetración (N)	Penetración (cm)	CONTENIDO DE AGUA	GRANULOMETRÍA	DENSIDAD γ_s (t/m³)	DENSIDAD γ_h (t/m³)	DENSIDAD γ_d (t/m³)	COMPRESIÓN ϕ_p (kg/cm²)	COMPRESIÓN ε (%)	COMPRESIÓN c_u (kg/cm²)	COMPRESIÓN ϕ_u (°)
						0,0	N.T.N.									Límite Líquido Límite Plástico Humedad Natural	Tamiz Nº 3" / Tamiz Nº 4 Tamiz Nº 2" / Tamiz Nº 10 Tamiz Nº 1" / Tamiz Nº 40 Tamiz Nº 1/2" / Tamiz Nº 100 Tamiz Nº 3/8" / Tamiz Nº 200							
09/04/2013	Muestra Cuota Nº 160	Retroperfusión con inyección de agua	+0,20 respecto nivel de calle	-2,00 m respecto a N.T.N.	2-1	0,5	Suelo vegetal	Negro																
					2-2	1,0	Arcillo limoso	Castaño	7.5YR 7/4 pink	Medianamente Compacta	0,84	CL	21,1	5		45									
					2-3	2,0	Arcillo limoso	Castaño	5YR 5/8 yellowish red	Medianamente Compacta	0,79	CL	23,5	5		45				2,68	1,84	1,42			7,48	0,00
					2-4	3,0	Arcillo limoso	Castaño	5YR 7/6 reddish yellow	Medianamente Compacta	0,53	CL	18,9	6		45				2,66	1,84	1,48			9,36	0,00
					2-5	4,0	Arcillo limoso	Castaño	7.5YR 7/4 pink	Medianamente Compacta	0,60	CL	14,9	8		45				2,67	1,85	1,42	14,77	3,15		
					2-6	5,0	Limo arcilloso	Castaño	7.5YR 8/4 pink	Compacta	0,93	ML	11,4	9		45				2,69	1,90	1,49	15,68	2,70		
					2-7	6,0	Limo arcilloso	Castaño	5YR 7/6 reddish yellow	Compacta	1,53	ML	9,8	11		45				2,66	1,84	1,47			8,45	12,76
					2-8	7,0	Limoso	Castaño	5YR 5/8 yellowish red	Compacta	2,96	ML	7,1	12		45									
					2-9	8,0	Limoso	Castaño	5YR 7/6 reddish yellow	Dura	2,11	ML	9,5	40		38									
					2-10	9,0	Limo arcilloso	Castaño	5YR 7/6 reddish yellow	Dura	1,32	ML	6,8	40		40									
					2-11	10,0	Limoso	Castaño	5YR 5/8 yellowish red	Dura	3,26	ML	2,7	40		32									
							Límite de Perforación																		

SONDEO Nº 3

Fecha	Ubicación	Sistema de Perf.	Cota de inicio	Napa Freática (m)	Muestra (Nº)	Profundidad (m)	Descripción Litológica	Color Visual	Color Munsell	Consistencia Relativa (Cr) o Densidad Relativa (Dr)	Simbología SUCS	Índice de Plasticidad	Nº de Golpes (N)	Resistencia a la Penetración (N)	Penetración (cm)	CONTENIDO DE AGUA	GRANULOMETRÍA	DENSIDAD γ_s (t/m³)	DENSIDAD γ_h (t/m³)	DENSIDAD γ_d (t/m³)	COMPRESIÓN ϕ_p (kg/cm²)	COMPRESIÓN ε (%)	COMPRESIÓN c_u (kg/cm²)	COMPRESIÓN ϕ_u (°)
						0,0	N.T.N.									Límite Líquido Límite Plástico Humedad Natural	Tamiz Nº 3" / Tamiz Nº 4 Tamiz Nº 2" / Tamiz Nº 10 Tamiz Nº 1" / Tamiz Nº 40 Tamiz Nº 1/2" / Tamiz Nº 100 Tamiz Nº 3/8" / Tamiz Nº 200							
9/05/2013	Fondo contra izquierda	Retroperfusión con inyección de agua	+0,40 respecto nivel de calle	-2,30 m respecto a N.T.N.	3-1	0,5	Suelo vegetal	Negro																
					3-2	1,0	Arcillo limoso	Castaño	2.5YR 7/6 light red	Blanda	0,92	CL	21,7	3		45									
					3-3	2,0	Arcillo limoso	Castaño	2.5YR 7/6 light red	Medianamente Compacta	0,90	CL	22,1	6		45				2,70	1,82	1,42			5,78	3,56
					3-4	3,0	Arcillo limoso	Castaño	7.5YR 7/4 pink	Medianamente Compacta	0,72	CL	20,9	7		45				2,68	1,83	1,42	8,63	2,90		
					3-5	4,0	Limo arcilloso	Castaño	7.5YR 5/8 strong brown	Compacta	1,66	ML	10,2	10		45				2,70	1,87	1,52	11,22	3,10		
					3-6	5,0	Limo arcilloso	Castaño	5YR 6/8 reddish yellow	Compacta	1,41	ML	12,5	9		45									
					3-7	6,0	Limoso	Castaño	7.5YR 7/6 reddish yellow	Compacta	1,72	ML	12,8	12		45									
					3-8	7,0	Limoso	Castaño	7.5YR 8/6 reddish yellow	Muy Compacta	2,03	ML	7,4	24		45									
					3-9	8,0	Limoso	Castaño	5YR 7/4 pink	Muy Compacta	2,14	ML	8,3	22		45									
					3-10	9,0	Limo arcilloso	Castaño	5YR 6/8 reddish yellow	Dura	1,39	ML	15,7	38		45									
					3-11	10,0	Limoso	Castaño	5YR 7/4 pink	Dura	3,78	ML	4,6	40		41									
							Límite de Perforación																		

SONDEO N° 4

Fecha	Ubicación	Sistema de Perf.	Cota de inicio	Napa Freática (m)	Muestra (N°)	Profundidad (m)	Descripción Litológica	Color Visual	Color Munsell	Consistencia Relativa (Cr) o Densidad Relativa (Dr)	Simbología SUCS	Índice de Plasticidad	N° de Golpes (N)	Resistencia a la Penetración (N)	Penetración (cm)	Límite Líquido / Límite Plástico / Humedad Natural	Tamiz N° 3" / 2" / 1" / 1/2" / 3/8" / N° 4 / N° 10 / N° 40 / N° 100 / N° 200	γ_s (t/m³)	γ_h (t/m³)	γ_d (t/m³)	q_u (t/m²)	ε (%)	c_u (t/m²)	ϕ_u (°)
01/08/2013	9 de Julio N° 616	Red provisoria con inyección de agua	+0,5/0 respecto nivel de calle	-2,0/-1 m respecto al nivel de calle		0,0	N.T.N.																	
					4-1	0,5	Suelo vegetal	Negro																
					4-2	1,0	Arcillo limoso	Castaño	2.5YR 7/6 light red	Medianamente Compacta	0,96	CL	22,3	5		45									
					4-3	2,0	Arcillo limoso	Castaño	2.5YR 7/8 light red	Medianamente Compacta	0,97	CL	15,6	6		45		2,71	1,84	1,47			8,12	0,00
					4-4	3,0	Arcillo limoso	Castaño	7.5YR 7/4 pink	Medianamente Compacta	0,70	CL	19,4	7		45		2,70	1,84	1,43			7,25	0,00
					4-5	4,0	Arcillo limoso	Castaño	10R 7/8 light red	Compacta	0,77	CL	21,1	10		45		2,68	1,86	1,43	10,78	2,55		
					4-6	5,0	Arcillo limoso	Castaño	5YR 5/8 yellowish red	Compacta	0,57	CL	17,4	12		45		2,68	1,88	1,44	16,75	2,90		
					4-7	6,0	Limoso	Castaño	7.5YR 7/6 reddish yellow	Compacta	1,13	ML	15,9	11		45								
					4-8	7,0	Limoso	Castaño	7.5YR 8/6 reddish yellow	Compacta	2,07	ML	7,5	14		45								
					4-9	8,0	Limo arcilloso	Castaño	5YR 7/4 pink	Muy Compacta	2,11	ML	7,2	18		45								
					4-10	9,0	Limoso	Castaño	7.5R 5/8 red	Dura	1,72	ML	13,8	40		35								
					4-11	10,0	Limoso	Castaño	5YR 7/4 pink	Dura	2,45	ML	7,6	40		38								
							Límite de Perforación																	

SONDEO N° 5

Fecha	Ubicación	Sistema de Perf.	Cota de inicio	Napa Freática (m)	Muestra (N°)	Profundidad (m)	Descripción Litológica	Color Visual	Color Munsell	Consistencia Relativa (Cr) o Densidad Relativa (Dr)	Simbología SUCS	Índice de Plasticidad	N° de Golpes (N)	Resistencia a la Penetración (N)	Penetración (cm)	Límite Líquido / Límite Plástico / Humedad Natural	Tamiz N° 3" / 2" / 1" / 1/2" / 3/8" / N° 4 / N° 10 / N° 40 / N° 100 / N° 200	γ_s (t/m³)	γ_h (t/m³)	γ_d (t/m³)	q_u (t/m²)	ε (%)	c_u (t/m²)	ϕ_u (°)
23/08/2013	9 de Julio N° 520	Retroexcavadora con inyección de agua	+0,0 respecto nivel de calle	-3,0 m respecto al nivel de calle		0,0	N.T.N.																	
					5-1	0,5	Suelo vegetal	Negro																
					5-2	1,0	Arcillo limoso	Castaño	10R 7/8 light red	Blanda	0,96	CL	24,3	4		45								
					5-3	2,0	Arcillo limoso	Castaño	5YR 5/8 yellowish red	Medianamente Compacta	0,89	CL	21,5	7		45								
					5-4	3,0	Arcillo limoso	Castaño	2.5YR 7/8 light red	Medianamente Compacta	0,73	CL	19,8	6		45		2,68	1,83	1,42	8,72	3,55		
					5-5	4,0	Arcillo limoso	Castaño	7.5YR 5/8 strong brown	Medianamente Compacta	0,76	CL	22,1	7		45		2,63	1,89	1,45			10,91	5,49
					5-6	5,0	Arcillo limoso	Castaño	5YR 6/8 reddish yellow	Compacta	0,49	CL	20,4	10		45		2,63	1,90	1,45			8,78	12,56
					5-7	6,0	Arcillo limoso	Castaño	7.5YR 7/6 reddish yellow	Compacta	0,84	CL	21,5	13		45		2,70	1,88	1,49			6,42	15,87
					5-8	7,0	Limoso	Castaño	7.5YR 8/6 reddish yellow	Compacta	1,93	ML	7,7	11		45								
					5-9	8,0	Limoso	Castaño	5YR 7/4 pink	Dura	2,08	ML	7,2	40		42								
					5-10	9,0	Limoso	Castaño	5YR 6/8 reddish yellow	Dura	1,70	ML	14,1	40		37								
					5-11	10,0	Limoso	Castaño	5YR 7/4 pink	Dura	2,24	ML	7,6	40		38								
							Límite de Perforación																	

SONDEO N° 6

Fecha	Ubicación	Sistema de Perf.	Cota de inicio	Napa Freática (m)	Muestra (N°)	Profundidad (m)	Descripción Litológica	Color Visual	Color Munsell	Consistencia Relativa (Cr) o Densidad Relativa (Dr)	Simbología SUCS	Índice de Plasticidad	N° de Golpes (N)	Resistencia a la Penetración (N)	Penetración (cm)	Límite Líquido / Límite Plástico / Humedad Natural	Tamiz N° 3" / 2" / 1" / 1/2" / 3/8" / N° 4 / N° 10 / N° 40 / N° 100 / N° 200	γ_s (t/m³)	γ_h (t/m³)	γ_d (t/m³)	q_u (t/m²)	ε (%)	c_u (t/m²)	ϕ_u (°)
11/07/2013	Sala N° 86	Retroexcavadora con inyección de agua	+0,4/0 respecto nivel de calle	-3,00 m respecto al nivel N.T.N.		0,0	N.T.N.																	
					6-1	0,5	Suelo vegetal	Negro																
					6-2	1,0	Arcillo limoso	Castaño	5YR 5/8 yellowish red	Medianamente Compacta	0,82	CL	19,1	6		45								
					6-3	2,0	Arcillo limoso	Castaño	10R 7/8 light red	Medianamente Compacta	0,84	CL	22,8	5		45		2,67	1,82	1,46			8,79	0,00
					6-4	3,0	Arcillo limoso	Castaño	7.5YR 7/4 pink	Medianamente Compacta	0,87	CL	20,6	8		45								
					6-5	4,0	Limo arcilloso	Castaño	2.5YR 7/8 light red	Medianamente Compacta	0,88	ML	11,3	8		45								
					6-6	5,0	Limo arcilloso	Castaño	5YR 6/8 reddish yellow	Compacta	0,94	ML	10,9	9		45		2,68	1,86	1,42	10,41	2,50		
					6-7	6,0	Limoso	Castaño	7.5YR 7/6 reddish yellow	Compacta	1,14	ML	14,6	11		45								
					6-8	7,0	Limoso	Castaño	7.5YR 8/6 reddish yellow	Compacta	1,83	ML	9,6	12		45								
					6-9	8,0	Limoso	Castaño	7.5R 5/8 red	Dura	1,82	ML	9,8	40		38								
					6-10	9,0	Limo arcilloso	Castaño	5YR 6/8 reddish yellow	Dura	2,86	ML	9,4	40		40								
					6-11	10,0	Limoso	Castaño	5YR 7/4 pink	Dura	1,94	ML	11,7	40		41								
							Límite de Perforación																	

SONDEO N° 7

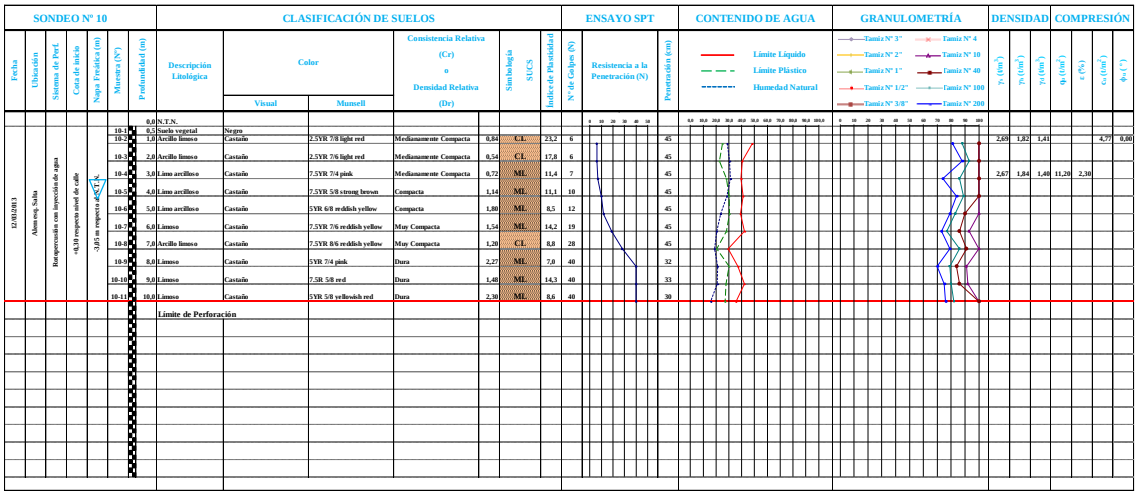
Fecha	Ubicación	Sistema de Perf.	Cota de inicio	Napa Freática (m)	Muestra (N°)	Profundidad (m)	Descripción Litológica	Color Visual	Color Munsell	Consistencia Relativa (Cr) o Densidad Relativa (Dr)	Simbología SUCS	Índice de Plasticidad	N° de Golpes (N)	Resistencia a la Penetración (N)	Penetración (cm)	Límite Líquido / Límite Plástico / Humedad Natural	Tamiz N° 3"	Tamiz N° 2"	Tamiz N° 1"	Tamiz N° 1/2"	Tamiz N° 3/8"	Tamiz N° 4	Tamiz N° 10	Tamiz N° 40	Tamiz N° 100	Tamiz N° 200	γs (t/m³)	γh (t/m³)	γd (t/m³)	qu (t/m²)	ε (%)	cu (t/m²)	φu (°)
07/08/2013	Salta N° 339	Retroperación con inyección de agua	+0,40 respecto nivel de calle	-3,50 m respecto al N.N.		0,0	N.T.N.																										
					7-1	0,5	Suelo vegetal	Negro																										
					7-2	1,0	Arcillo limoso	Castaño	2.5YR 7/6 light red	Blanda	1,64	CL	22,2	4		45																	
					7-3	2,0	Arcillo limoso	Castaño	2.5YR 7/6 light red	Medianamente Compacta	0,68	CL	22,2	5		45												2,70	1,84	1,42			8,53	0,00
					7-4	3,0	Arcillo limoso	Castaño	5YR 5/8 yellowish red	Medianamente Compacta	0,64	CL	23,4	6		45																	
					7-5	4,0	Arcillo limoso	Castaño	10R 7/8 light red	Compacta	0,98	CL	17,5	12		45																	
					7-6	5,0	Arcillo limoso	Castaño	5YR 6/8 reddish yellow	Compacta	1,00	CL	21,6	10		45																	
					7-7	6,0	Arcillo limoso	Castaño	7.5YR 7/6 reddish yellow	Compacta	1,67	CL-ML	6,3	13		45												2,68	1,88	1,49	12,56	2,70		
					7-8	7,0	Limoso	Castaño	2.5YR 7/8 light red	Dura	2,14	ML	7,0	37		45																	
					7-9	8,0	Limoso	Castaño	5YR 7/4 pink	Dura	1,85	ML	8,6	40		40																	
					7-10	9,0	Limoso	Castaño	5YR 6/8 reddish yellow	Dura	1,84	ML	14,0	40		36																	
					7-11	10,0	Limoso	Castaño	5YR 7/4 pink	Dura	2,01	ML	7,8	40		30																	
							Límite de Perforación																										

SONDEO N° 8

Fecha	Ubicación	Sistema de Perf.	Cota de inicio	Napa Freática (m)	Muestra (N°)	Profundidad (m)	Descripción Litológica	Color Visual	Color Munsell	Consistencia Relativa (Cr) o Densidad Relativa (Dr)	Simbología SUCS	Índice de Plasticidad	N° de Golpes (N)	Resistencia a la Penetración (N)	Penetración (cm)	Límite Líquido / Límite Plástico / Humedad Natural	Tamiz N° 3"	Tamiz N° 2"	Tamiz N° 1"	Tamiz N° 1/2"	Tamiz N° 3/8"	Tamiz N° 4	Tamiz N° 10	Tamiz N° 40	Tamiz N° 100	Tamiz N° 200	γs (t/m³)	γh (t/m³)	γd (t/m³)	qu (t/m²)	ε (%)	cu (t/m²)	φu (°)
18/09/2013	Coronel Machado esq. Salta	Retroperación con inyección de agua	+0,10 respecto nivel de calle	-2,80 m respecto al N.N.		0,0	N.T.N.																										
					8-1	0,5	Suelo vegetal	Negro																										
					8-2	1,0	Arcillo limoso	Castaño	2.5YR 7/6 light red	Medianamente Compacta	1,03	CL	17,3	6		45																	
					8-3	2,0	Arcillo limoso	Castaño	2.5YR 7/6 light red	Medianamente Compacta	0,93	CL	21,0	6		45												2,64	1,84	1,47			9,11	0,00
					8-4	3,0	Arcillo limoso	Castaño	7.5YR 7/4 pink	Medianamente Compacta	0,64	CL	23,9	8		45												2,66	1,85	1,44	10,25	3,65		
					8-5	4,0	Arcillo limoso	Castaño	7.5YR 5/8 strong brown	Compacta	0,77	CL	16,9	10		45																	
					8-6	5,0	Arcillo limoso	Castaño	5YR 6/8 reddish yellow	Compacta	0,87	CL	18,9	14		45																	
					8-7	6,0	Arcillo limoso	Castaño	10R 7/8 light red	Compacta	1,09	CL	18,7	12		45																	
					8-8	7,0	Limoso	Castaño	7.5R 5/8 red	Compacta	2,88	ML	7,2	13		45																	
					8-9	8,0	Limo arcilloso	Castaño	5YR 7/4 pink	Muy Compacta	2,61	CL-ML	6,4	29		45																	
					8-10	9,0	Limoso	Castaño	5YR 5/8 yellowish red	Muy Compacta	1,73	ML	14,2	26		45																	
					8-11	10,0	Limoso	Castaño	5YR 7/4 pink	Dura	1,78	ML	10,4	36		45																	
							Límite de Perforación																										

SONDEO N° 9

Fecha	Ubicación	Sistema de Perf.	Cota de inicio	Napa Freática (m)	Muestra (N°)	Profundidad (m)	Descripción Litológica	Color Visual	Color Munsell	Consistencia Relativa (Cr) o Densidad Relativa (Dr)	Simbología SUCS	Índice de Plasticidad	N° de Golpes (N)	Resistencia a la Penetración (N)	Penetración (cm)	Límite Líquido / Límite Plástico / Humedad Natural	Tamiz N° 3"	Tamiz N° 2"	Tamiz N° 1"	Tamiz N° 1/2"	Tamiz N° 3/8"	Tamiz N° 4	Tamiz N° 10	Tamiz N° 40	Tamiz N° 100	Tamiz N° 200	γs (t/m³)	γh (t/m³)	γd (t/m³)	qu (t/m²)	ε (%)	cu (t/m²)	φu (°)
18/09/2013	Alem esq. Salta	Retroperación con inyección de agua	+0,40 respecto nivel de calle	-2,80 m respecto al N.N.		0,0	N.T.N.																										
					9-1	0,5	Suelo vegetal	Negro																										
					9-2	1,0	Arcillo limoso	Castaño	2.5YR 7/6 light red	Medianamente Compacta	1,06	CL	15,3	6		45																	
					9-3	2,0	Arcillo limoso	Castaño	7.5YR 7/4 pink	Medianamente Compacta	0,56	CL	18,1	7		45												2,68	1,83	1,42	9,64	2,15		
					9-4	3,0	Arcillo limoso	Castaño	2.5YR 7/8 light red	Medianamente Compacta	0,83	CL	17,5	6		45																	
					9-5	4,0	Limo arcilloso	Castaño	5YR 5/8 yellowish red	Compacta	1,63	ML	10,4	9		45												2,64	1,86	1,51	10,24	2,85		
					9-6	5,0	Limo arcilloso	Castaño	7.5R 5/8 red	Compacta	2,82	ML	8,6	11		45																	
					9-7	6,0	Limoso	Castaño	7.5YR 7/6 reddish yellow	Compacta	1,45	ML	12,3	14		45																	
					9-8	7,0	Limoso	Castaño	10R 7/8 light red	Dura	2,32	ML	8,5	40		41																	
					9-9	8,0	Limoso	Castaño	5YR 7/4 pink	Dura	1,84	ML	8,7	40		35																	
					9-10	9,0	Limo arcilloso	Castaño	10R 7/8 light red	Dura	2,33	CL-ML	4,6	40		32																	
					9-11	10,0	Limoso	Castaño	5YR 7/4 pink	Dura	1,82	ML	9,8	40		38																	
							Límite de Perforación																										



DISCUSIÓN

El nivel estático del agua subterránea se detectó a una profundidad variable entre -2,00 y -3,80 metros, medida respecto a la cota de calle. Evidentemente si cesara el bombeo permanente que realiza la municipalidad, dicho nivel subiría, ablandando el suelo superficial y ocasionando deformaciones en la mayoría de las construcciones livianas que existen dentro del área estudiada.

CONCLUSIONES

Con la información obtenida de los trabajos de gabinete y de campo y del informe de laboratorio, se procedió a ponderar la información, a integrarla y complementarla con los aportes de la geotecnia e ingeniería de fundaciones para así modelar la situación en estudio, analizar y determinar los requisitos que deben cumplir las estructuras u obras a realizar, tanto en su proceso constructivo como en su condición de servicio, para asegurar un factor de seguridad adecuado para prevenir el deterioro o ruina durante su vida útil.

Como resultado de todo el trabajo descripto y siguiendo los principios de la Norma ASTM E 620, se puede establecer que a partir de los tres metros de profundidad, el suelo puede resistir cualquier tipo de carga típica proveniente de una obra de ingeniería o arquitectura, sin sufrir asentamientos importantes que pudieran afectar a las estructuras.

REFERENCIAS

Berry J, 2001. *Mecánica de Suelos*, Reidn.

Bowles, J.E. 1996. *Foundation Analysis and Design*, McGraw Hill, 5th Edtion.

Das, B. 2006. *Principios de ingeniería de Cimentaciones*, Thomson Editores. ISBN 970-686-035-5, 2006.

Duncan, J. y C. Chang 1970. Nonlinear analysis of stress and strain in soils, Proc. ASCE Soil Mech. Found. Div. 96, 1629-1654.

Gimenez Salas, J. A. 1992. *Geotecnia y Cimientos*, Rueda, 2da Edición.

Goodman, R. E. 1993. *Engineering Geology*, John Wiley.

Juarez Badillo, E. y A. RICO RODRIGUEZ 1996. *Mecánica de Suelos*, Limusa, 3ra Edición.

Kramer, S. L. 1995. *Geotechnical Earthquake Engineering*, Prentice Hall.

Powrie, W. 2004. *Soil Mechanics, Concepts & Applications*, Spon Press, 2nd Edtion.
Rimoldi, Víctor Horacio 2001. *Carta Geológica Geotécnica de la Ciudad de Buenos Aires*, Serie Contribuciones Técnicas. Ordenamiento Territorial. Nº 3. SEGEMAR, Bs As.
Yrigoyen M.R. 1993. *Morfología y Geología de la ciudad de Buenos Aires. Evaluación e incidencia geotécnica*, Actas Asoc. Arg. Geol. Apl. Ing.; Vol. VII, 7-38.

GEOHIDROLOGÍA DEL EXTREMO NORESTE DE LA PROVINCIA DE BUENOS AIRES (ARGENTINA)

Cellone F. A.[a b], *Melo M.*[a b], *Carol E. S.*[a b]

[a] *Cátedra de Hidrología General, Facultad de Ciencias Naturales y Museo, Universidad Nacional de La Plata 64 n°3 La Plata, Argentina,ARGENTINA*
[b] *Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), ARGENTINA*

e-mail: fcellone@fcnym.unlp.edu.ar

RESUMEN

El extremo noreste de la provincia de Buenos Aires corresponde a una llanura labrada sobre sedimentos pleistocenos de origen eólico a la cual se adosa, en la zona litoral del Río de la Plata, una planicie costera. Esta última está caracterizada por la presencia de sedimentos marino-fluviales depositados a partir de las variaciones eustáticas durante el Holoceno. Es un área de baja densidad poblacional donde la principal actividad económica es la agrícola ganadera. El abastecimiento de agua se realiza principalmente por captación del agua subterránea. Los antecedentes para el área abarcan estudios hidrogeológicos, geológicos, geomorfológicos y edáficos de carácter regional, sin embargo no existen trabajos en donde se realice un análisis integral de dichas temáticas. El objetivo del trabajo es realizar una caracterización geohidrológica del extremo noreste de la provincia de Buenos Aires comprendido en los partidos de Magdalena y Punta Indio. Para ello se efectuó un análisis de imágenes satelitales, fotografías aéreas, cartas topográficas y de suelos, y registros y datos químicos de perforaciones de agua subterránea realizadas a distintas profundidades. Toda la información fue volcada en un sistema de información geográfica y su interpretación, junto con la realización de relevamientos de campo, permitió definir y caracterizar las principales unidades geohidrológicas del área. Los resultados obtenidos constituyen una base para comprender la geohidrología del área y generar pautas de manejo sustentable del recurso hídrico.

INTRODUCCIÓN

El extremo noreste de la provincia de Buenos Aires, comprendido entre los partidos de Magdalena y Punta Indio “ver Fig. 1”, constituye una llanura suavemente ondulada asociada a la cual se extiende en la zona litoral una planicie costera de muy escasa pendiente. Se trata de un área de baja densidad poblacional donde la principal actividad económica es la agrícola ganadera. El abastecimiento de agua se realiza principalmente por captación del agua subterránea ya sea a través de perforaciones domiciliarias o bien como suministro de agua por red.

Desde un punto de vista estructural constituye el margen norte de la cuenca del Salado “ver Fig. 1”. Ésta representa un típico ejemplo de cuenca de rift con fallas normales subparalelas entre sí escalonadas hacia el centro y un basamento que desciende hasta una profundidad aproximada de 6 km (Yrigoyen M., 1975). Su génesis se remonta al Jurásico superior y Cretácico inferior y se la vincula con la generación de un punto triple y posterior aborción de uno de sus brazos durante la apertura del Océano Atlántico Sur (Bracaccini O., 1980; Introcaso A. y Ramos V., 1984).

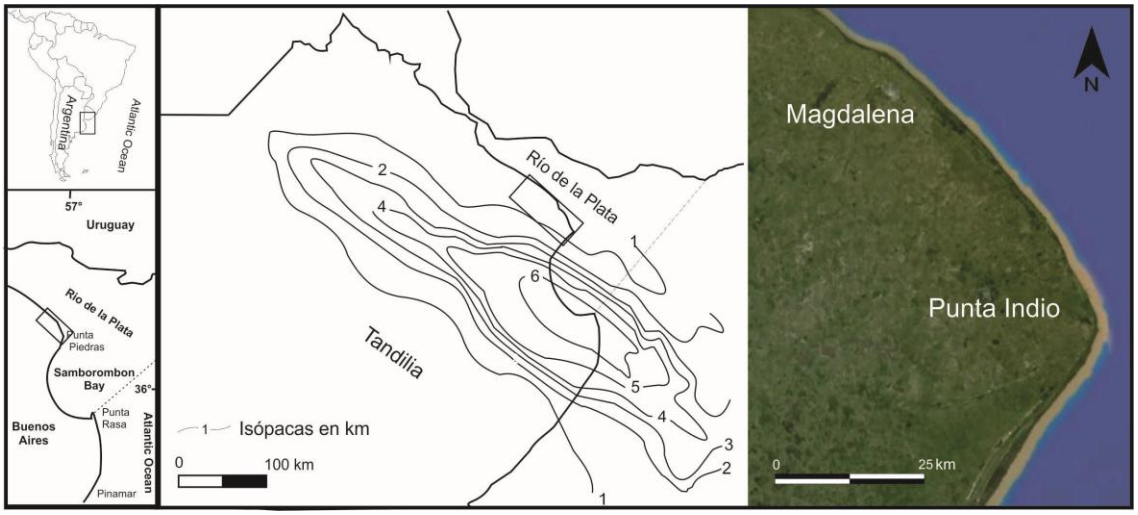


Figura 1: Ubicación del área de estudio y mapa isopáquico del piso de la cuenca del Salado. Modificado de Yrigoyen 1975.

Las secuencias sedimentarias profundas presentes en el extremo noreste corresponden a aquellas que colmataron la cuenca, estando representadas por una alternancia de depósitos continentales y marinos agrupados dentro de las formaciones Olivos y Paraná (Groeber P., 1945; Frenguelli J., 1950). Las características hidrogeológicas asociadas a dichas secuencias han sido estudiadas regionalmente, principalmente aquellas relacionadas a las unidades acuíferas (Sala J., 1975; Auge M. et al., 2002; Bonorino A., 2005).

Por otro lado, las secuencias sedimentarias que se encuentran aflorando o inmediatamente por debajo corresponden a depósitos fluviales, eólicos y marinos de edad Pliocena a Holocena agrupadas dentro de las formaciones Arenas Puelches, Sedimentos Pampeanos y Sedimentos Postpampeanos. En muchas regiones de la provincia de Buenos Aires las características hidrogeológicas de dichas unidades han sido profusamente estudiadas (EASNE, 1972; Sala J., 1975; Auge M., 1986; Auge M., 1997; Auge M. et al., 2002; Auge M., 2005), sin embargo los antecedentes para el área de estudio son escasos o nulos.

En relación a la geomorfología y geología más superficial numerosas contribuciones analizan la evolución geológica del área durante el cuaternario, en especial en el área de planicie costera (Fidalgo F. et al, 1973; Fidalgo F. et al, 1975; Cavallotto J., 1995; Violante et al 2001; Cavallotto J., 2002; Fucks E., et al 2010). Asimismo, desde el punto de las características de los suelos, si bien existen antecedentes más locales (Sanchez R. et al, 1976; Martinez O., et al 2006; Gimenez J. et al 2008) están relacionados generalmente a la clasificación de los tipos de suelos y procesos pedológicos. Dado que tanto la geología, como geomorfología y suelos regulan la dinámica, recarga y calidad de agua de los acuíferos un estudio integrado de las mismas pemitirá evaluar los recurso hídricos del área de estudio. El objetivo del trabajo es realizar una caracterización geohidrológica del extremo noreste de la provincia de Buenos Aires comprendido en los partidos de Magdalena y Punta Indio.

MÉTODOS O DESARROLLO EXPERIMENTAL

Se realizó una caracterización geohidrológica del área a partir de análisis de registros de perforaciones profundas y someras correspondientes al EASNE (Estudios de Aguas

Subterráneas del Noreste de la Provincia de Buenos Aires), YPF (Yacimientos Petrolíferos Fiscales) y al SPAR (Servicio Provincial de Agua Potable y Saneamiento Rural). Asimismo se trabajó con cartas topográficas, imágenes satelitales, fotografías aéreas, cartas de suelos, registros de perfiles de suelos y un modelo de elevación digital del terreno. Como modelo de elevación digital del terreno se utilizó una imagen SRTM4 a la cual se le realizó una corrección altimétrica a partir de 58 puntos de control en cartas topográficas mediante un sistema de información geográfica.
A su vez, a partir de la información analizada, se delimitaron y caracterizaron distintas unidades geomorfológicas y posteriormente se las unificó con las distintas unidades geológicas y de suelos definidas para la zona. Toda la información fue integrada mediante el software ArcGis para su interpretación, tratamiento y para la confección de mapas y perfiles geohidrológicos.
Se tomaron muestras del agua subterránea y en el laboratorio se determinaron los valores de conductividad eléctrica y la concentración de iones mayoritarios (bicarbonato, carbonato, cloruro, sulfato, sodio, calcio, magnesio y potasio) según los métodos establecidos por la American Public Health Association (APHA, 1998).
La caracterización hidroquímica del agua subterránea se realizó a partir de los análisis químicos propios y de otros provenientes del SPAR, a partir de gráficos Piper (Piper A., 1944).

RESULTADOS

En el área de estudio la perforación más representativa del subsuelo se encuentra ubicada en la localidad de Monte Veloz, habiendo sido realizada hasta una profundidad de -692,5 m snm sin alcanzar el basamento "ver Fig. 2". En la misma se reconocen de base a techo las formaciones Olivos, Paraná, Arenas Puelches y Sedimentos Pampeanos.
La Formación Olivos comienza a partir de los -411 m snm hasta el final de la perforación y está compuesta principalmente por arcilitas pardo rojizas, amarillentas a verdosas entre las cuales intercalan capas de limolitas y areniscas. Se trata de una unidad hidrogeológica principalmente acuitarda, distinguiéndose un nivel acuífero entre los -557 y los -575.5 m snm "ver Fig. 2", siendo el agua clorurada con una salinidad de 24g/L.
La Formación Paraná se extiende desde los -65 m snm a los -411m snm y posee una litología constituida principalmente por arcilitas azuladas a verdosas oscuras con abundante contenido fosilífero. En la parte media a inferior (entre los -239.7 y los -308,5 m snm) intercalan niveles arenosos a conglomerádicos de colores claros "ver Fig. 2" donde se desarrollan acuíferos con un agua clorurada-sulfatada de salinidad 1, 97g/L.
Las perforaciones realizadas por el EASNE y el SPAR permiten caracterizar a las Arenas Puelches arrojando espesores del orden de 30 m para la localidad de Verónica, 25 m para Magdalena y entre 12 y 16 m en Pipinas marcando un acuñamiento de la unidad hacia este último sector "ver Fig.2". El techo de la formación se ubica a -32 m snm en Verónica, a -50 m en Pipinas y en Magdalena a -37 m. Litológicamente la formación está constituida por arenas cuarzosas finas a medias amarillentas a blanquecinas.
El agua es de tipo bicarbonatada sódica para la localidad de Verónica con salinidades promedio de 0,5 g/L y bicarbonatada-clorurada sódica para la localidad de Pipinas con salinidades de 0,8 g/L "ver Fig. 3".

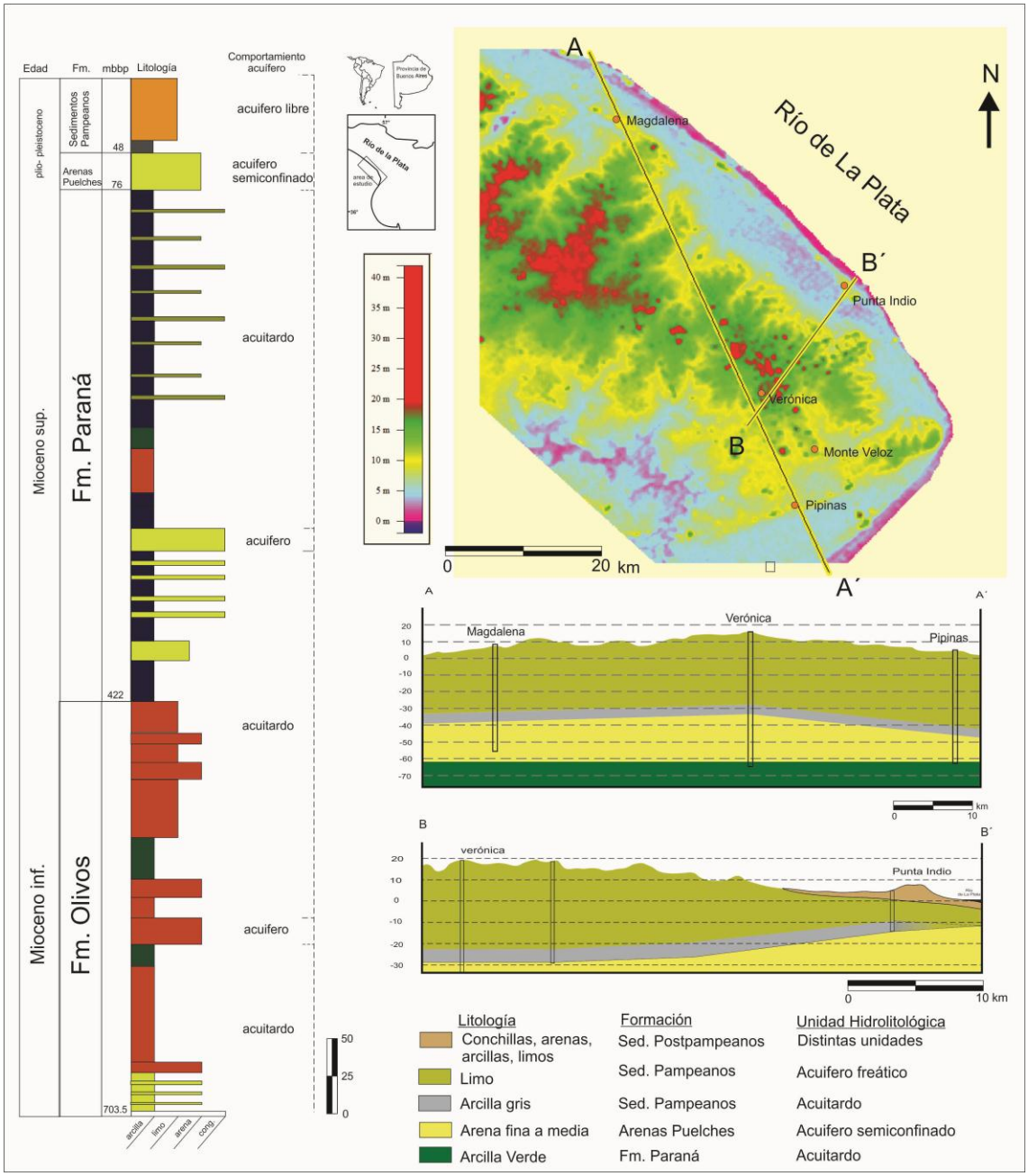


Figura 2: Columna estratigráfica Monte Veloz. Modelo de elevación digital del terreno que ilustra la topografía del extremo noreste de la provincia de Buenos Aires. Perfiles hidrolitológicos A-A´ y B-B´.

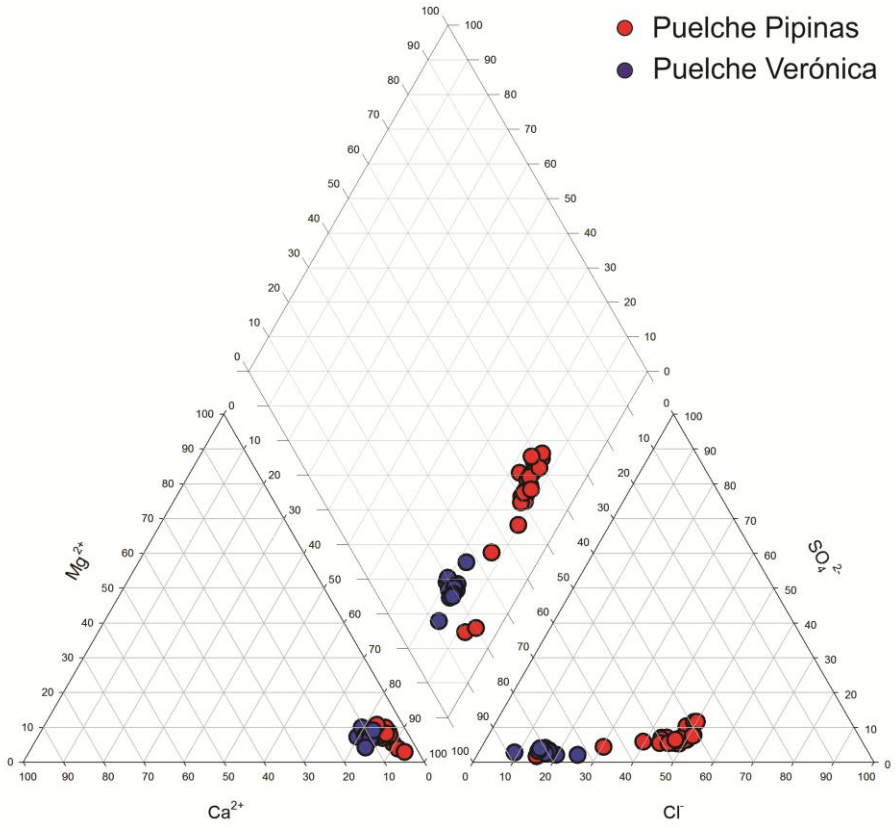


Figura 3: Diagrama Piper de clasificación de aguas, acuífero Puelche.

Los Sedimentos Pampeanos corresponden a limos con intercalaciones arcillosas y niveles de tosca de origen eólico y edad Pleistocena. Afloran en gran parte del área de estudio expresándose morfológicamente en lo que se denomina la llanura continental "ver Fig. 4". Dentro de esta se reconocen áreas de interfluvio, las planicies aluviales de los arroyos, áreas de pendiente que conectan a las dos anteriores y un área de transición entre la llanura continental y la planicie costera adyacente caracterizada como antigua franja costera. En las zonas de interfluvios el espesor de la formación ronda los 40 m acuñandose hacia el litoral hasta espesores de alrededor de los 15 m "ver Fig. 2". Asociados a cada unidad morfológica se reconocen distintos tipos de suelos: hapludertes típicos o natracuertes típicos en las zonas de interfluvio, natracuoles típicos en planicies aluviales, natracualfes vérticos en las áreas de pendiente y natracualfes vérticos en la antigua franja costera "ver Fig. 4".
Desde el punto de vista geohidrológico los Sedimentos Pampeanos albergan un acuífero libre con agua de tipo bicarbonatada cálcica a magnesiana con valores de salinidad inferiores a los 0,5 g/L.

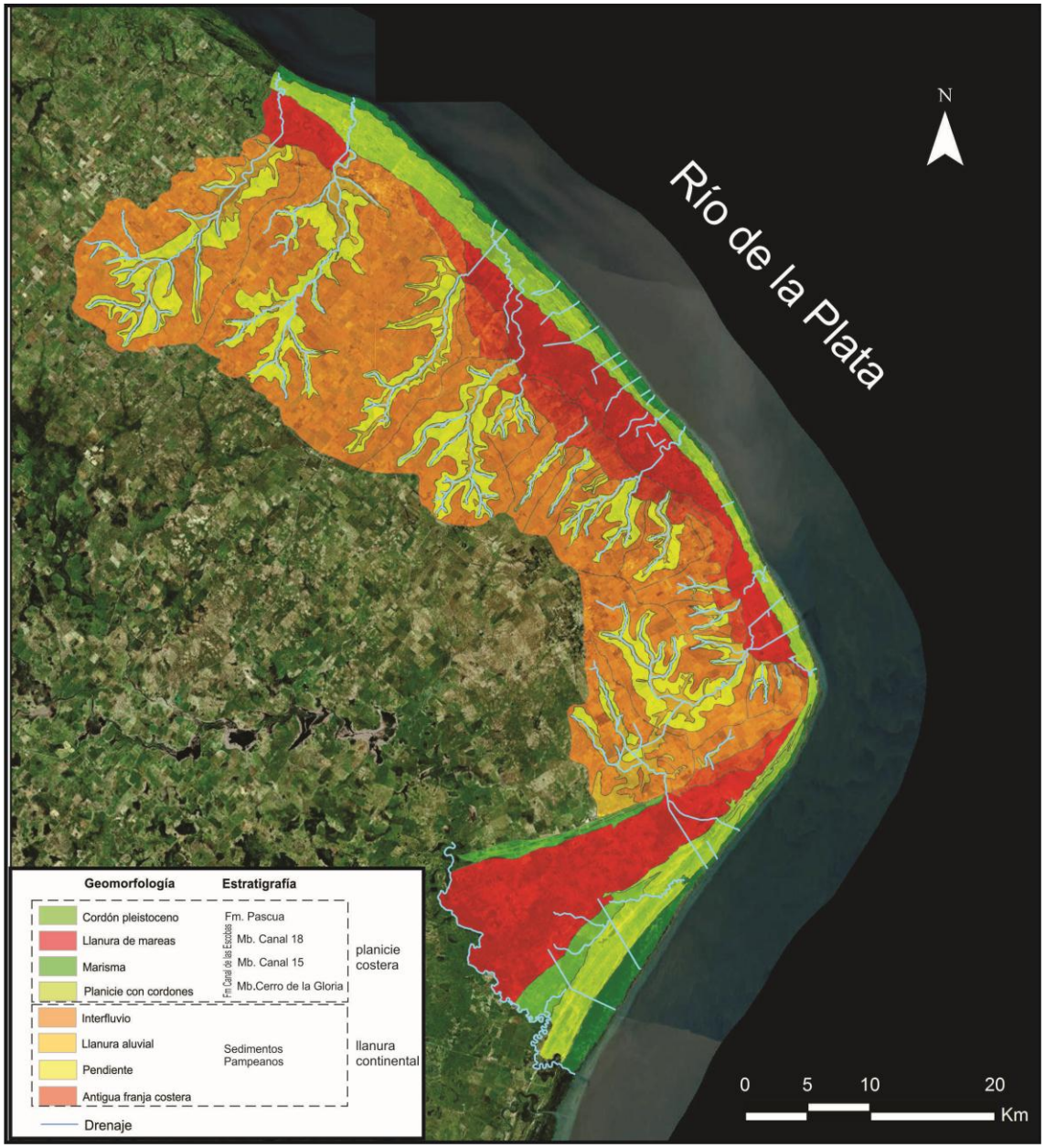


Figura 4: mapa geomorfológico-estratigráfico del extremo noreste de la provincia de Buenos Aires.

Los Sedimentos Postpampeanos afloran a lo largo de toda la costa y están representados por dos formaciones: Puente de Pascua y Canal de las Escobas. Dentro de la segunda se diferencian cuatro miembros: Destacamento Río Salado, Cerro de La Gloria, Canal 15 y Canal 18.

La Formación Puente de Pascua está compuesta por conchillas y rodados de tosca muy cementados conformando una coquina. Morfológicamente se distingue como un cordón alargado con dirección este-oeste al sur del área de estudio, identificado en la imagen como "cordón pleistoceno" aunque su morfología original solo se preserva en algunos sectores a causa de la explotación minera "ver Fig 4". Asociados a esta geoforma se

desarrollan algunos de los suelos de mejor aptitud de la región caracterizados como argiudoles vérticos.

La Formación Canal de las Escobas corresponde a los sedimentos depositados durante la transgresión Holocena. La variedad en el tipo de depósitos acarrea su división en distintos miembros. El Miembro Destacamento Río Salado corresponde a sedimentos arcillosos a arcillo arenosos de color negro a grisaceo y no aflora en el área de estudio.

El Miembro Canal 18 se compone de sedimentos limo arcillosos que en profundidad intercalan con estratos más arenosos. Morfologicamente constituyen una antigua llanura de mareas actualmente sin conexión con los flujos mareales "ver figura 4". Asociados a esta planicie se distinguen dos tipos de suelos: argialboles acuicos y natracualfes típicos o vérticos vinculados a los canales y a la zona comprendida entre los mismos respectivamente. Hidrolitologicamente esta unidad actuaría como acuitardo dada la baja permeabilidad de sus sedimentos aunque en la zona de canales es dable cierto comportamiento acuífero. En cuanto a la química del agua subterranea esta es de tipo bicarbonatada sódica con una salinidad media de 1,35 g/L "ver Fig. 5"

El Miembro Cerro de la Gloria está constituido por conchillas, rodados de tosca, arena, limos y arcillas. Morfológicamente se expresa como una planicie con cordones de conchilla y cordones arenosos alargados paralelamente a la costa separados por espacios intercordonales donde prevalecen las granulometrías más finas "ver Fig. 4". Los suelos asociados a estas unidades son clasificados como haprendoles típicos y natracuoles vérticos para los cordones y los intercordones respectivamente. En cuanto a su comportamiento hidrolitológico los cordones constituyen excelentes acuíferos donde el agua subterránea es predominantemente bicarbonatada cálcica a magnesiana de baja salinidad, con un promedio de 0,8 g/L. Los intercordones conforman acuitardos donde el agua es clorurada sódica con salinidades muy variables (0,25 g/L a 3,25 g/L) "ver Fig. 5".

En el Miembro Canal 15 predominan los sedimentos de tamaño arcilla y coloraciones oscuras. Morfológicamente corresponde a una marisma que se desarrolla paralelamente a la costa en las cotas inferiores a los 2,5 m snm desarrollándose en ella suelos del tipo fluvacuent típicos y epiacuert típicos "ver Fig. 5". El agua subterránea es bicarbonatada cálcica a clorurada con una salinidad media de 1,5 g/L y el comportamiento de la unidad corresponde al de un acuitardo por su baja permeabilidad.

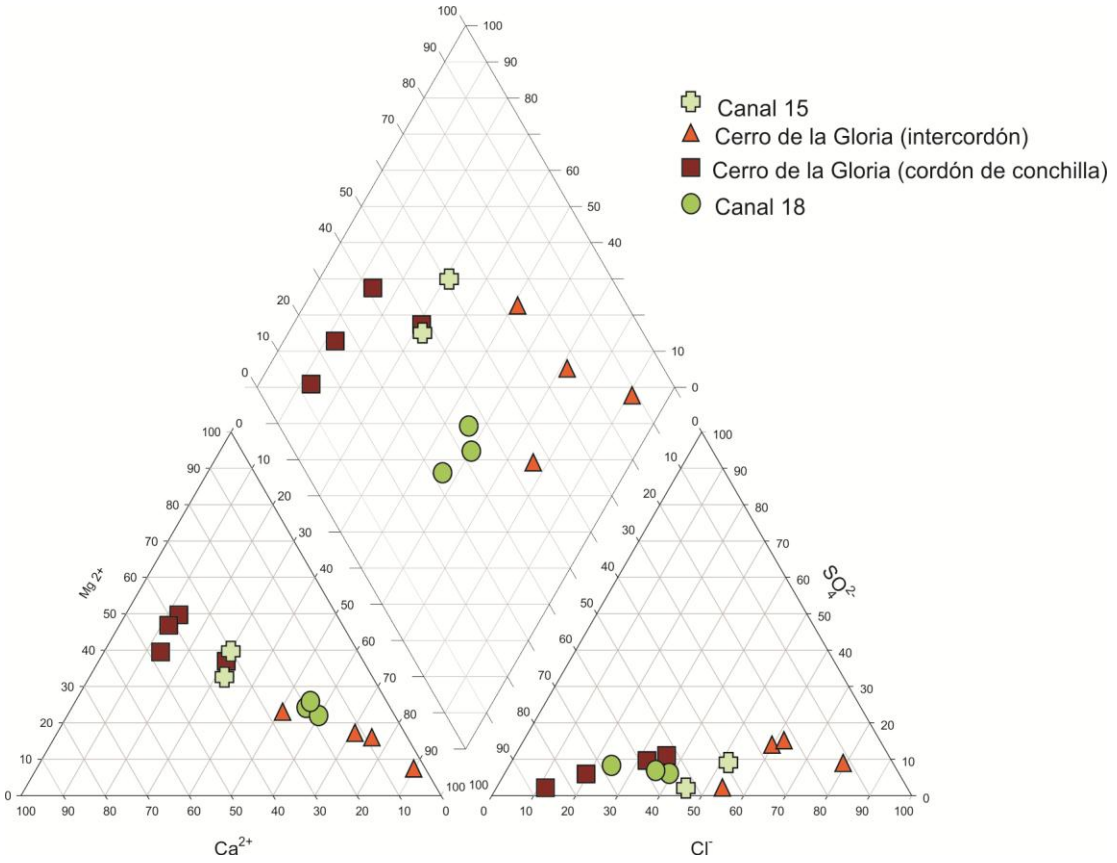


Figura 3: Diagrama Piper de clasificación de aguas, Sedimentos Postpampeanos.

CONCLUSIONES

El estudio integrado de las características geológicas, geomorfológicas y edáficas del área de Magdalena y Punta Indio, conjuntamente con el análisis geohidrológico regional, permitió caracterizar las distintas unidades hidrolitológicas del área.

Las unidades hidrolitológicas profundas corresponden a aquellas alojadas en las Formaciones Olivos y Paraná. La Formación Olivos constituye una unidad con un comportamiento principalmente acuitardo en donde sólo una sección acuífera de 18,5 m de espesor se ubica en su parte media, siendo el agua que aloja salina de tipo clorurada. La Formación Paraná es también una unidad dominantemente acuitarda en los sectores menos profundos, existiendo niveles acuíferos hacia la base con agua levemente salina de tipo clorurada-sulfatada.

Suprayaciendo a estas se encuentra un acuífero multicapa conformado por un semiconfinado (Puelche) y un acuífero libre alojado en distintas unidades. El acuífero Puelche presenta agua bicarbonatada a bicarbonatada-clorurada sódica con salinidades menores a los 0,8 g/L y espesores que van de los 30 m a los 12 m según el área analizada.

El comportamiento hidrolitológico y las características químicas del acuífero libre varían según la geología, geomorfología y el tipo de suelo. Estas determinan variaciones en la permeabilidad de los horizontes superficiales y en consecuencia condicionan la recarga y la hidroquímica del mismo.

En el acuífero freático alojado en los Sedimentos Pampeanos el agua presenta salinidad inferior a 0,5 g/L y es de tipo bicarbonatada cálcica a magnesiana. Por otro lado, en el sector costero, los Sedimentos Postpampeanos constituyen una unidad hidrolitológica acuitarda en la mayor parte de la planicie costera a excepción de los cordones de conchillas. Estos últimos constituyen una unidad acuífera donde el agua subterránea es de baja salinidad predominantemente bicarbonatada cálcica a magnesiana.
Los datos aportados por este trabajo permiten unificar la información existente para el área y constituyen una base para la gestión del recurso hídrico de la región.

REFERENCIAS

American Public Health Association, 1998. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 20th ed. American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environment Federation, Washington, DC.

Auge, M. P., 1986. Hydrodynamic Behavior of the Puelche Aquifer in Matanza River Basina. Groundwater, 24(5), 636-642.

Auge, M.P., 1997. Piezometría de los acuíferos Pampeano y Puelche en Poblet La Plata – Argentina. Primer Congreso Nacional de Hidrogeología. Actas: 145-152. Bahía Blanca.

Auge, M.P., Hernandez, M.A. y Hernandez, L., 2002. Actualización del conocimiento del acuífero semiconfinado Puelche en la provincia de Buenos Aires, Argentina. XXXII IAH & VI ALSHUD Congreso Aguas Subterráneas y Desarrollo Humano'. Pág. 624-633. Mar del Plata.

Auge, M.P., 2005 "Hidrogeología de La Plata, Provincia de Buenos Aires" . Relatorio del XVI Congreso Geológico Argentino, La Plata, 2005. 293-311

Bonorino, A. G., 2005. Acuiferos profundos e hidrotermalismo. Relatorio del XVI Congreso Geológico Argentino. La plata, 2005. Cap. XX: 327-346.

Bracaccini O., 1980. Cuenca del Salado. En: Turner JC (ed) Segundo Simposio de Geología regional Argentina. Academia Nacional de Ciencias, Córdoba, Argentina, 879–918, Septiembre de 1976

Cavallotto, J. L. 2002. Evolución holocena de la llanura costera del margen sur del Río de la Plata. Revista de la Asociación Geológica Argentina, 57 (4): 376-388

Cavallotto, José Luis, 1995. Evolución geomorfológica de la llanura costera ubicada en el margen sur del Río de la Plata. Tesis Doctoral. Facultad de Ciencias Naturales y Museo.

EASNE (1972) Estudio de Aguas Subterráneas del Noreste de la Provincia de Buenos Aires [Study of groundwater in the northeast of the Province of Buenos Aires]. Consejo Federal de Inversiones (CFI). Serie Técnica 24, tomos I y II, Buenos Aires

Fidalgo, F., U.R. Colado y F.O. De Francesco, 1973. Sobre ingresiones marinas cuaternarias en los partidos de Castelli, Chascomús y Magdalena (Provincia de Buenos Aires). V Congreso Geológico Argentino Actas 4:225-240, Villa Carlos Paz.

Fidalgo, F., F.O. De Francesco, R. Pascual, 1975. Geología Superficial de la Llanura Bonaerense. Relatorio del Congreso Geológico Argentino: 103-138.

Frenguelli, J., 1950. Rasgos Generales de la Morfología y la Geología de la Provincia de Buenos Aires. LEMIT. Serie 2(33), 72 p., La Plata.

Fucks, E., E. Schnack y M. Aguirre, 2010. Nuevo ordenamiento estratigráfico de las secuencias marinas del sector continental de la bahía Samborombón, provincia de Buenos Aires. Revista Asociación Geológica Argentina 67:27-39.

Gimenez, J. E., Hurtado M.A., Martínez O. R., 2008 Characterization of abiotic conditions affecting vegetation distribution in the river Plate coastal plain, Argentina. Acta Scientiarum Biological Sciences. Maringá, v. 30, n. 4, p. 423-430

Groeber, P., 1945. Las aguas surgentes y semisurgentes del norte de la Provincia de Buenos Aires. Rev. La Ingeniería, 49(6), 371-387.

Introcaso, A. y Ramos, V., 1984. La cuenca del Salado: Un modelo de evolución aulacogénica. 9° Congreso Geológico Argentino, Actas 3: 27-46, San Carlos de Bariloche.

Martinez, O., Hurtado, M. y Jiménez, J., 2006. Caracterización ambiental de los humedales costeros del Río de La Plata, Provincia de Buenos Aires, Argentina. Revista de Geociencias 5 (1): 55-64.

Piper A M., 1944. A graphic procedure in the geochemical interpretation of water analysis. American Geophysical Union Trans 25:914–923.

Sala, J.M., 1975 Recursos hídricos (Especial mención de las aguas subterráneas) Geología de la Provincia de Buenos Aires. Relatorio del VI Congreso Geológico Argentino, Bahía Blanca, Buenos Aires: 169-194.

Sanchez, R. O., J.A. Ferrer, O.A. Duymovich, M.A. Hurtado, 1976. Estudio Pedológico integral de los partidos de Magdalena y Brandsen (provincia de Buenos Aires) Serie II, N° 310. Anales Lemit.

Violante, R.A., G. Parker y J. Cavallotto, 2001. Evolución de las llanuras costeras del este bonaerense entre la bahía Samborombón y la laguna Mar Chiquita durante el Holoceno. Revista de la Asociación Geológica Argentina 56:51-66

Yrigoyen, M.R., 1975. Geología del Subsuelo y Plataforma Continental. Geología de la Provincia de Buenos Aires. Relatorio del VI Congreso Geológico Argentino, Bahía Blanca, Buenos Aires: 139-168.

CONTRIBUCION DE LOS SUELOS DEL AREA METROPOLITANA DE BUENOS AIRES EN EL MANTENIMIENTO DE LOS SERVICIOS ECOSISTEMICOS

Civeira G.[a]

[a]*Instituto de Suelos, Insituto Nacional de Tecnologia Agropecuaria, Buenos Aires, ARGENTINA.*
Universidad de Morón, Facultad de Agronomia y Cs.Agroalimentarias
e-mail: civeira.gabriela@inta.gob.ar

RESUMEN

La mitad de la población mundial vive en las ciudades lo que genera que los residentes ejerzan mayor presión sobre los recursos naturales dentro y fuera de los límites de los ecosistemas urbanos. En estos sitios se pueden encontrar desde espacios verdes hasta la agricultura urbana (AU) sobre suelos que presentan una gran heterogeneidad. Los suelos originales de la región del Área metropolitana de Buenos Aires (AMBA), se desarrollaron en el loess pampeano, con una textura limosa, una composición mineralógica alta en nutrientes y presentan un horizonte superficial de color oscuro (orden Molisoles). Los suelos tienen la capacidad de proveer servicios ecosistémicos (por ej. retención de carbono y productividad). Los objetivos del trabajo fueron evaluar el contenido de C, la productividad primaria neta (PPN) y los factores edáficos que los regulan en suelos urbanos bajo AU y espacios verdes. Se estimaron los contenidos de C y PPN a través de las bases de datos provenientes de los censos agropecuarios y relevamientos de suelos (INDEC, MAA, MINAGRI, INTA). Las estimaciones fueron realizadas a nivel de partidos del AMBA: se evaluaron los partidos de Esteban Echeverria (EE), Marcos Paz (MP) y La Matanza (LM). La PPN total a nivel de partido presentó rangos entre 3.4 y 14.7 Mg ha^{-1} $año^{-1}$. Marcos Paz presentó la menor PPN y LM la mayor. La PPN presentó correlación negativa con el contenido de arcillas y positiva con el contenido de materia orgánica. El contenido de C también presentó diferencias entre partidos, fue mayor en los suelos de MP (1,5 %) y menor en la localidad de La Matanza (1,1 %). Los servicios ecosistémicos como la PPN y la retención de C son espacialmente variables y estas diferencias pueden estar relacionadas a las características relevantes del tipo de suelos en cada partido o zona.

Palabras Clave: AMBA, suelos, servicios ecosistémicos, PPN, carbono orgánico (C).

RELEVANCIA DEL PROBLEMA

Los ecosistemas satisfacen las demandas humanas actuando como fuente recursos o como destino de los residuos. Actualmente, en las ciudades vive más de la mitad de la población mundial, y estos residentes ejercen presión sobre los recursos ambientales. Para sostener el consumo en los ecosistemas urbanos grandes cantidades de material y energía son extraídas dentro y fuera de las ciudades, esto determina que los ecosistemas urbanos sean altamente dependientes y frágiles (Su et al., 2010). La agricultura urbana y periurbana (AUP) es definida como la practica que permite cultivar plantas y criar animales dentro de ambientes urbanos y periurbanos (Obuobie et al. 2006; Zezza and Tasciotti 2010). Ademas, la AUP es una fuente muy importante de vegetales, frutas, granos y productos animales (Drechsel et al. 2007). Estos agrosistemas se encuentran dentro y alrededor de los límites de las ciudades en todo el mundo. Los territorios

incluidos dentro de la ciudad varían enormemente según el pais. En general, el área periurbana presenta un rango que incluye desde zonas muy densamente pobladas a zonas con menor densidad de población. La distinción entre urbano y periurbano depende de la densidad, tipo y patrones de uso de la tierra, lo que determina su uso para la agricultura. La AUP ha crecido en importancia debido a que juega un rol fundamental en la seguridad alimentaria y además permite modificar: el paisaje, los espacios verdes, la economía urbana, la pequeña agroindustria familiar (creación de fuentes de empleo), los usos de la energía (impulso a energías alternativas y renovables, reciclado de residuos orgánicos e inorgánicos), los canales de comercialización ("canales comerciales cortos") y la contaminación y degradación de suelos, aire y agua (reutilización de RSU mediante compostaje, recuperación de suelos) (Zezza y Tasciotti 2010).

Las poblaciones humanas concentradas están directamente afectadas por los cambios que ocurran en los servicios ecosistemicos provistos por los paisajes circundantes (Grau, 2008). Un proceso clave para determinar el nivel de provisión de servicios ecosistemicos (Costanza et al. 1998) es la evaluación de las entradas de materia orgánica (productividad primaria neta o PPN) al ecosistema y la dinámica del carbono (C) como integrador de su funcionamiento (McNaughton 1989). La evaluación y monitoreo del funcionamiento de los ecosistemas (ej. Funcionamiento de la vegetación, intercambio de materia y energía hacia el medio ambiente) puede ser caracterizado por la productividad primaria neta aérea (PPN). La PPN es un atributo clave en el funcionamiento de los ecosistemas terrestres, debido a sus interconexiones con los servicios ecosistémicos, como por ejemplo la productividad secundaria y el ciclado de nutrientes, entre muchos otros (Mc Naugthon et al., 1989, Constanza et al, 1997).

Estimaciones confiables de la PPN y los contenidos de C en los suelos son muy útiles para identificar las contribuciones de la agricultura a nivel regional y nacional al balance del ciclo global del C (Paustian et al., 1997; Grogan and Matthews, 2002; Bolinder et al., 2006; Campbell et al., 2000; Izaurralde et al., 2001). Las investigaciones ecológicas basadas en el monitoreo de la PPN son una adecuada aproximación para estudiar las respuestas de los recursos naturales a los cambios en el medio ambiente y en el manejo de los recursos. Actualmente, desde los estudios ecológicos, existe una demanda del estudio de las variables biofísicas, como la PPN, de todos los tipos de ecosistemas. Asimismo, el estudio de las respuestas de los ecosistemas al cambio climático es actualmente una preocupación, por lo tanto la necesidad de detectar y predecir estos cambios en el funcionamiento de los ecosistemas nunca ha sido tan grande (Prince et al., 2001).

El concepto y la definición específica de la PPN pueden variar en la literatura. Sintéticamente, Scurlock y Olson (2002) definieron a la PPN (aérea) como el incremento en la biomasa de las plantas menos las pérdidas por unidad de superficie por unidad de tiempo. La entrada de C al ecosistema tiene un efecto significativo en la acumulación de C en el suelo. La PPN provee la entrada de C al ecosistema y determina la cantidad de C fijado fotosinteticamente, que puede ser potencialmente secuestrado por la materia orgánica del suelo. Esta información es aun escasa debido a que los datos de campo actualmente disponibles son generalmente difíciles de usar para predecir

cambios a nivel regional, debido a que son tradicionalmente recolectados en espacios reducidos y a escalas pequeñas y varían en su calidad y confiabilidad. Varios modelos regionales y globales que evalúan por ejemplo la dinámica de los nutrientes (como el intercambio de C entre compartimentos de los ecosistemas) utilizan estimaciones de la PPN basados en los sensores remotos (Potter et al. 2007). Asimismo, los datos de los rendimientos recolectados anualmente por el Servicio Nacionales de Estadísticas Agrícolas y otros organismos, han sido utilizados de manera exitosa a nivel regional para estimar la PPN de los cultivos en Estados Unidos, Canadá y Europa (Prince et al. 2001; Lokupitiya et al 2012; Ciais et al. 2010). Si bien esta aproximación ha resultando una herramienta eficiente para evaluar la productividad de los ecosistemas, es necesario realizar mejores estimaciones de la PPN de los cultivos a nivel nacional y regional para lograr obtener la adecuada contribución de la agricultura al balance global de C (Prince et al., 2001).

La importancia de evaluar la tendencia regional y temporal de los agrosistemas y los factores que las gobiernan ha quedado de manifiesto en los párrafos anteriores. Sin embargo, estas aproximaciones ecológicas han sido poco evaluadas en áreas periurbanas y especialmente en lo que respecta a agrosistemas (Steiner, 2002; Prince et al 2001). Si bien existen estudios a nivel del conurbano bonaerense sobre ecosistemas urbanos y periurbanos, no se ha relevado adecuadamente la situación ambiental de las áreas donde se realiza la AUP y los sitios donde se pueden llevar a cabo este tipo de actividades productivas (Obuobie et al. 2006; Zezza and Tasciotti 2010). Del mismo modo, encontrar datos comparables de PPN para diferentes ecosistemas es aun hoy difícil (Picket et al 2011). Por lo tanto, la PPN en los AUP debería ser evaluada ya que sus valores a nivel global y local son insuficientes o no existen (Picket et al 2011). De esta manera, las potenciales respuestas de este parámetro a cambios en el manejo, en el estado de los recursos debido, por ejemplo a la degradación de los suelos son necesarias de reconocer y entender dentro de la dinámica de estos ecosistemas. Por lo tanto, es necesario realizar un análisis del funcionamiento para caracterizar y determinar en que situación se encuentran actualmente y poder analizar cuales alternativas productivas son más eficientes en estos agrosistemas. El objetivo principal será identificar los factores edáficos que controlan a la PPN y los contenidos de C a nivel de localidad.

Materiales y Métodos

Área de estudio

La Región Pampeana se encuentra en una vasta planicie que ocupa alrededor de 50 mil hectáreas de superficie. La precipitación media anual presenta un rango entre los 200 y los 120 mm al oeste y al este, respectivamente. Los suelos de la Region se desarrollaron en mayor medida a partir de material loessico y en menor grado a partir de material proveniente de sedimentos fluviales (Teruggi, 1957). El área periurbana estudiada corresponde a la ciudad de Buenos Aires y La Plata. Ambas se encuentra dentro de la subregión denominada Pampa ondulada, la cual esta localizada en la porción este de la region Pampeana (Soriano et al, 1991). En este sector húmedo, los suelos predominantes son los Argiudoles y los Vertisoles (Instituto de suelos-INTA, 2011).

Marco conceptual y metodológico para la evaluación de la PPN

La PPN anual en los agrosistemas fue calculada con los rendimientos de los cultivos. Los datos utilizados para estimar la PPN a nivel de partido serán obtenidos de los censos del Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INDEC), Ministerio de Agricultura de la Nacion (Minagri), Ministerio de Agricultura de la Provincia de Buenos Aires (MAA) y el Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA). Se utilizarán todos los años que presenten datos censales (desde el año 1990 hasta 2010) para los cultivos que ocupen la mayor proporción o área sembrada para todos los partidos del conurbano bonaerense y el conurbano platense.

La metodología a utilizar para calcular la PPN siguio el método desarrollado por Prince et al. (2001) a escala regional para los cultivos de granos en el Medio oeste de EE.UU. La PPN (Mg ha^{-1}) de los cultivos evaluados para cada partido fueron estimados a partir de los datos de cosecha (Toneladas) y la superficie cosechada (Ha) a las cuales se les aplicaron los índices de cosecha (relación entre materia seca de los granos y biomasa área de la planta) correspondientes a cada cultivo citados en la literatura nacional e internacional (Alvarez et al 2006; Bolinder 2007; Gianfagna et al., 1998). Para cada partido y año se creará una tabla en la cual se colocarán las áreas cosechadas, las toneladas cosechadas, y los índices de cosecha para cada cultivo. Con estos datos se calculará la PPN anual para cada cultivo y partido. Para cada uno de los partidos se asumirá un índice de cosecha similar. La PPN de todos los cultivos será sumada para obtener la PPN a nivel de partido (PPN Total) siguiendo la metodología de Prince et al. (2001). La PPN total a nivel de partido será calculada dividiendo la suma de todas las PPN estimadas para los cultivos por la suma de sus áreas. Por ejemplo: Tomate PPN (Mg ha^{-1} yr^{-1}) = Tomate cosechado a nivel de partido (Mg) * índice de cosecha de tomate / superficie de tomate cosechado a nivel de partido (ha).

Los factores edáficos que pueden controlar la PPN y el contenido de C a nivel de partido serán analizados con los datos de suelos de cada área evaluada (Atlas Suelo INTA). El contenido de C también se obtendrá de las bases de datos de suelos de GEOINTA (2014). Las propiedades de los suelos a analizar serán obtenidas de la base de datos de INTA, se utilizaran las series de suelos de cada partido que ocupen porcentajes mayores al 30% del área. Las propiedades a evaluar serán: contenido de arcilla, contenido de limo, contenido de arena, profundidad del perfil, profundidad del horizonte A, pH y CIC (Tabla 1). Los factores analizados serán evaluados mediante análisis de correlacion de Perason para poder evaluar cuales están regulando a la PPN y el C del suelo en estos agrosistemas.

Tabla 1. Propiedades de los suelos de cada partido.

Localidad	Profundidad Horizonte A	arena	limo	arcilla	contenido arcilla en Bt	pH	CIC
		%					
Esteban Echeverria	17	20	52	20	40	5,8	15
Marcos Paz	20	18	55	25	39	5,9	15
La Matanza	18	15	50	30	45	6,1	18

Resultados preliminares

La PPN fue significativamente mayor en la localidad de La Matanza, aunque presentó un contenido menor de C orgánico en el suelo en relación al suelo de Marcos Paz. Asimismo, este municipio presento la menor PPN, lo que llevaría a pensar que a nivel localidad el contenido de C orgánico en los suelos no tiene influencia en la productividad de estos agrosistemas. La PPN a nivel localidad podría estar relacionada a otros factores como el uso de agroquímicos y el tipo de cultivo implantado en cada localidad: La Matanza presenta un alto porcentaje de cultivos hortícolas y mayor uso de insumos en relación o los otros municipios (Censo Ministerio de Asuntos Agrarios).

Tabla 2. Productividad primaria neta (Mg ha-1 año-1), contenido de C y tipo de suelos de los partidos del conurbano bonaerense analizados. Letras distintas dentro de la columna indican diferencias significativas (p<0,05).

Partidos	PPN total Mg ha^{-1} $año^{-1}$	C suelo mg kg-1	Tipo suelo
Esteban Echeverria	4,5b	12,5ab	Argiacuol vertico
Marcos Paz	3,4b	14,5a	Argialbol tipico
La Matanza	14,7a	11,1b	Argiudol vertico

La PPN correlaciono positivamente con la profundidad del horizonte A en todas las localidades. El pH también correlaciono positivamente con la PPN pero solamente en Esteban Echeverria y Marcos Paz. En cambio la PPN correlaciono negativamente con el contenido de arcillas en Esteban Echeverria y La Matanza, esto pudo ser debido al tipo de suelos dominante que presentan ambas zonas, donde la disponibilidad de agua y la profundidad de las raíces podrían verse afectadas por los elevados contenidos de arcilla y la presencia de un horizonte B textural. El C en el suelo estuvo afectado por el contenido de arcilla y la CIC, específicamente en las dos localidades con presencia del tipo de suelo Argiudol vertico.

Tabla 3. Correlaciones entre la PPN, el C del suelo (Pearson) y las variables edáficas seleccionadas a nivel localidad. En negrita se resaltaron las variables independientes que correlacionaron significativamente (p<0.05).

Localidad	**Prof.H.A**	**arena**	**limo**	**arcilla**	**pH**	**CIC**
Esteban Echeverria						
PPN	**0,5**	0,55	0,15	**-0,85**	**0,65**	0,45
valor P	***0,04***	*0,25*	*0,25*	***0,005***	***0,04***	*0,18*
C	**0,56**	0,12	0,15	**0,45**	0,54	**0,52**
valor P	***0,03***	*0,61*	*0,55*	***0,03***	*0,15*	***0,03***
Marcos Paz						

PPN	**0,54**	0,59	0,19	-0,54	**0,69**	0,49
valor P	***0,043***	*0,253*	*0,253*	*0,07*	***0,043***	*0,18*
C	**0,6**	0,16	0,19	0,49	0,58	*0,56*
valor P	***0,036***	*0,732*	*0,66*	*0,08*	*0,18*	*0,08*
La Matanza						
PPN	**0,58**	0,63	0,23	**-0,77**	0,73	0,53
valor P	***0,046***	*0,256*	*0,256*	***0,011***	*0,046*	*0,19*
C	**0,64**	0,2	0,23	**0,53**	0,62	**0,6**
valor P	***0,0432***	*0,878*	*0,792*	***0,0432***	*0,216*	***0,04***

Los datos obtenidos permiten analizar el funcionamiento de los agrosistemas periurbanos a nivel regional. Asimismo, permite caracterizarlos y determinar en que situación se encuentran actualmente y analizar las alternativas productivas más eficientes en estos sistemas. Estos datos son relevantes debido a que las poblaciones humanas concentradas están directamente afectadas por los cambios que ocurran en los servicios ecosistemicos provistos por los paisajes circundantes (Grau et al., 2008).

Conclusiones preliminares

La PPN de los agroecosistemas periurbanos puede contribuir a identificar tendencias en la cobertura de la vegetación que se encuentra actualmente (y en el tiempo) en ellos.

La PPN de estos ecosistemas es espacialmente variable estas diferencias estuvieron relacionadas a las características relevantes del tipo de suelos en cada área.

REFERENCIAS

Alvarez R., Lavado R.S. 1998. *Climate, organic matter and clay content relationships in the Pampa and Chaco soils, Argentina*. Geoderma, 83, 127–141.

Alvarez R., Russo M.E., Prystupa P., Scheiner J.D., Blotta L. (1998): *Soil carbon pools under conventional and no-tillage systems in the Argentine Rolling Pampa.* Agronomy Journal, 90, 138–143.

Alvarez R., Steinbach H.S., Lavado R.S., Gutiérrez Boem F.H. 2006. *Organic Matter: Agronomic Value and Dynamics in Pampean Soils.* Faculty of Agronomy, Buenos Aires. (in Spanish)

Alvarez, R., R. Díaz, N. Barbero, O.J. Santanatoglia, and L. Blotta. 1995a. *Soil organic carbon, microbial biomass and CO2–C production from three systems.* Soil Tillage Res. 33, 17–28.

Bolinder M.A., H.H. Janzen , E.G. Gregorich , D.A. Angers , A.J. Van den Bygaart 2007. *An approach for estimating net primary productivity and annual carbon inputs to soil for common agricultural crops in Canada* Agriculture, Ecosystems and Environment 118. 29–42

Bolinder, M. A., Andre´n, O., Ka tterer, T. and Parent, L.-E. 2008. *Soil organic carbon sequestration potential for Canadian agricultural ecoregions calculated using the Introductory Carbon Balance Model.* Can. J. Soil Sci. 88, 4 51- 460

Bradford, J. B. W. K. Lauenroth, I. C. Burke, and J. M. Paruelo. 2006.The Influence of Climate, Soils, Weather, and Land Use on Primary Production and Biomass Seasonality in the US Great Plains Ecosystems 9, 934–950.

Buyanovsky, G. A. and Wagner, H. 1998. *Carbon cycling in cultivated land and its global significance*. Global Change Biology 4, 131-141.

Civeira, G. 2011. Estimation or carbon inputs to soils from wheat in the Pampas Region, Argentina. Czech J. Genet. Plant Breed., 47: 39-42.

Costanza Robert , Ralph d'Arge, Rudolf de Groot, Stephen Farberk, Monica Grasso, Bruce Hannon, Karin Limburg, Shahid Naeem, Robert V. O'Neill, Jose Paruelo, Robert G. Raskin, Paul Suttonkk & Marjan van den Belt. 1997. *The value of the world's ecosystem services and natural capital* Nature 387:253-260.

Epstein, H.E., W.K. Lauenroth and I.C. Burke. 1997. *Effects of temperature and soil texture on ANPP in the U.S. Great Plains.* Ecology 78, 2628-2631.

Gianfagna TJ, Logendra L, Durner EF, Janes HW. 1998. *Improving tomato harvest index by controlling crop height and side shoot production.* Life Support Biosph Sci. 5, 255-61.

Hall, A.J., Rebella, C.M., Ghersa, C.M., Culot, J.P. 1992. Field *crop systems of the Pampas.* In C.J. Pearson (ed.) Field crop ecosyst. World 18. Elsevier, 413-450.

INDEC. www.indec.gov.ar, Censo Nacional agropecuario datos de: 1993-2002.

Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA). www.inta.gob.ar

Lavado R.S. 2006. *Effects of Sewage-Sludge Application on Soils and Sunflower Yield: Quality and Toxic Element Accumulation*. Journal of Plant Nutrition 29, 975-984.

Marland, G., Fruit, K., Sedjo, R., 2001. *Accounting for sequestered carbon: the question of permanence*. Environ. Sci. Policy 378, 259–268.

Mc Naughton, SJ; M Oesterheld; DA Frank & KJ Williams. 1989. *Ecosystem-level patterns of primary productivity and herbivory in terrestrial habitats*. Nature 341, 142-144

Milesi, C, Elvidge, CD, Nemani, RR, Running, SW. 2003. *Assessing the impact of urban land development on net primary productivity in the southeastern United States.* Remote Sensing of environment, 86, 401-410.

Ministerio de agricultura de la provincia de Buenos Aires (MAA). www.maa.gba.gov.ar

Ministerio de Agricultura ganaderia pesca y alimentación (Minagri). www.minagri.gob.ar

Mukherjee J. and C. V. S. Sastri. 2004. *Fruit yield predicting model of tomato using spectral and hyperspectral indices* Journal of the Indian Society of Remote Sensing 32: 301-306.

Noy-Meir, I. 1973. Desert ecosystems: environment and producers. Annual Review of Ecology and Systematics 4, 25-51.

Obuobie, E., Keraita, B., Danso, G., Amoah, P., Cofie, O.O., Raschid-Sally, L. and P. Drechsel. 2006. *Irrigated urban vegetable production in Ghana: Characteristics, benefits and risks.* IWMI-RUAF IDRC-CPWF, Accra, Ghana: IWMI, 150 pp. http://www.cityfarmer.org/GhanaIrrigateVegis.html

Paruelo, J. M., Laurenroth, WK, Burke, I.C. y Sala, O.E. 1999. Grassland precipitation use efficience varies across a resource gradient. Ecosystems 2: 64-68.

Picket S.T.A. M.L. Cadenasso , J.M. Grove , Christopher G. Boone, Peter M. Groffman ,Elena Irwin , Sujay S. Kaushal, Victoria Marshall, Brian P. McGrath , C.H. Nilon, R.V. Pouyat, Katalin Szlavecz, Austin Troy, Paige Warrenm. 2011.

Urban ecological systems: Scientific foundations and a decade of progress. Journal of Environmental Management 92: 331-362

Paruelo, J. M., M. F. Garbles, J. P. Guerschman, and E. G. Jobbagy. 2004. *Two decades of normalized difference vegetation index changes in South America: identifying the imprint of global change.* International Journal of Remote Sensing 25,1–14.

Potter, C., S. Klooster, A. Huete, and V. Genovese. 2007. *Terrestrial carbon sinks for the United States predicted from MODIS satellite data and ecosystem modeling*. Earth Interactions 11, 1-21.

Pouyat, R., Groffman, P; Yesilonis, I; Hernandez, L. 2002. *Soil carbon pools and fluxes in urban ecosystems.* Environmental pollution 116, 107: 118.

Prince, S. D., J. Haskett, M. Steininger, H. Strand, and R. Wright. 2001. *Net primary production of U.S. Midwest croplands from agricultural harvest yield data*. Ecological Applications 11, 1194–1205

Sala, O.E., W.J. Parton, L.A. Joyce, and W.K. Lauenroth. 1988. *Primary production of the central grassland region of the United States.* Ecology 69:40-45.

SINGH. J. S.: YADAVA. P. S.. 1974. Seasonal variation in composition. plant biomass and net primary productivity of a tropical grassland at Kurukshetra, India. *Ecol. Monogr*.. 44, 351-376.

Soriano, A. 1991. *Río de la Plata Grasslands*. In: R.T. COUPLAND (Ed). Natural Grasslands. Introduction and Western Hemisphere. Elsevier. Cap. 19: 367-407.

Teruggi, M., 1957. *The Nature and Origin of Argentine Loess*. Journal of Sedimentary Petrology 27, 322-332

Zezza, A. y L. Tasciotti. 2010. *Urban agriculture, poverty, and food security: Empirical evidence from a sample of developing countries*, Food Policy 35, 265-273

CÁLCULO DE LA EVAPOTRANSPIRACIÓN EN EL VALLE DEL RÍO NEUQUÉN, ARGENTINA, CON INFORMACIÓN SATELITAL

Cogliati M. G.[a]
[a]*Departamento de Geografía, Facultad de humanidades, Universidad Nacional del Comahue, ARGENTINA*

e-mail: marisa.cogliati@fahu.uncoma.edu.ar

RESUMEN

La cuantificación de la evapotranspiración en áreas productivas irrigadas es importante para establecer políticas relacionadas al manejo del agua. Siendo su cálculo difícil de estimar en zonas cubiertas por distintos cultivos en diferentes estados de crecimiento por métodos de superficie.

En regiones áridas y semiáridas cerca del 90% de la precipitación puede ser evapotranspirada (Varni et al., 1999). Por lo tanto, los recursos de agua, aplicaciones en manejo de áreas forestadas, distribución de agua para agricultura, monitoreo del crecimiento de cultivos, detección de sequías, recuperación de áreas desérticas y deforestadas, requieren la estimación de la evapotranspiración en superficie en distintas escalas espaciales y temporales.

En este trabajo, se utilizan los datos de imágenes satelitales LANDSAT ETM+ en el infrarrojo, visible e infrarrojo cercano de las 14:00 hora local (HL) durante el verano en el valle del río Neuquén. La evapotranspiración se calcula píxel por píxel para el tiempo instantáneo de pasaje del satélite. El proceso se basa en el balance de energía completo para cada píxel donde la evapotranspiración se estima a partir del monto residual de energía que queda del balance de energía clásico.

La mayor evapotranspiración se presentó en sectores asociados a zonas productivas en el interior del valle productivo y en zonas con riego por pivote central con cultivos de hortalizas sobre la meseta, ambas con mayor vegetación e irrigación, las zonas sobre la meseta con vegetación dispersa presentaron los mínimos valores.

.

INTRODUCCIÓN

La cuantificación de la evapotranspiración (ET) en áreas productivas irrigadas es importante para establecer políticas relacionadas al manejo del agua. En regiones áridas y semiáridas cerca del 90% de la precipitación puede ser evapotranspirada (Varni et al., 1999). Por lo tanto, los recursos de agua, aplicaciones en manejo de áreas forestadas, distribución de agua para agricultura, monitoreo del crecimiento de cultivos, detección de sequías, recuperación de áreas desérticas y deforestadas, requieren la estimación de la ET en superficie en distintas escalas espaciales y temporales. (Allen et al., 2004; Dodds et al., 2005).

La variabilidad de la topografía y las propiedades radiativas de la superficie se combinan para generar variaciones temporales y espaciales complejas del balance de energía en superficie (Oliphant et al., 2003). ET fue estimada en escala regional por varios autores (e.g., Ambast et al., 2002; Cleugh, 2007; Matsushima, 2007)

Sobrino y otros, (2005) calcularon el Balance de energía simplificado en superficie utilizando parámetros obtenidos de sensores remotos; el albedo, temperatura de

superficie, emisividad y el Índice de vegetación ajustado con el suelo. Los resultados presentaron los mayores valores para alfalfa (5 mm/día) y los menores para maíz (3.5 mm/día) con un error menor a 1 mm/día.
Sánchez et al., (2007) analizaron valores de evapotranspiración diaria a escala regional para distintos tipos de cultivos y vegetación, observando una sobreestimación de 0.6 mm/día ± 1.0 mm/día, comparando con mediciones de superficie.
Sobrino et al., (2005) utilizaron el modelo anterior para el cálculo de la evapotranspiración diaria a partir de NOAA-AVHRR.
En este trabajo, se utilizan los datos de imágenes digitales recolectados por satélites LANDSAT TM en el infrarrojo, visible e infrarrojo cercano de las 14:00 hora local (HL) durante el verano en el valle del río Neuquén. La evapotranspiración se calcula píxel por píxel para el tiempo instantáneo de pasaje del satélite. El proceso se basa en el balance de energía completo para cada píxel donde la evapotranspiración se estima a partir del monto residual de energía que queda del balance de energía clásico (Bastiaanssen et al., 1998)).

AREA DE ESTUDIO

El área comprende la zona del valle del río Neuquén entre 38° 51´ S, 68° 76´W y 38° 54´S, 67 ° 58´ W (Figura 1).A media mañana y a media tarde, la zona cubierta con sombra se reduce, debido al menor ángulo zenital del sol, y la dirección norte sur del valle (Oliphant et al, 2003). La topografía presenta una característica de escalón, con el valle irrigado en la zona deprimida. Los datos satelitales están disponibles a través del Proyecto LANDSAT vía internet (http://glovis.usgs.gov/) previamente procesadas (proceso L1T) cortesía del USGS.

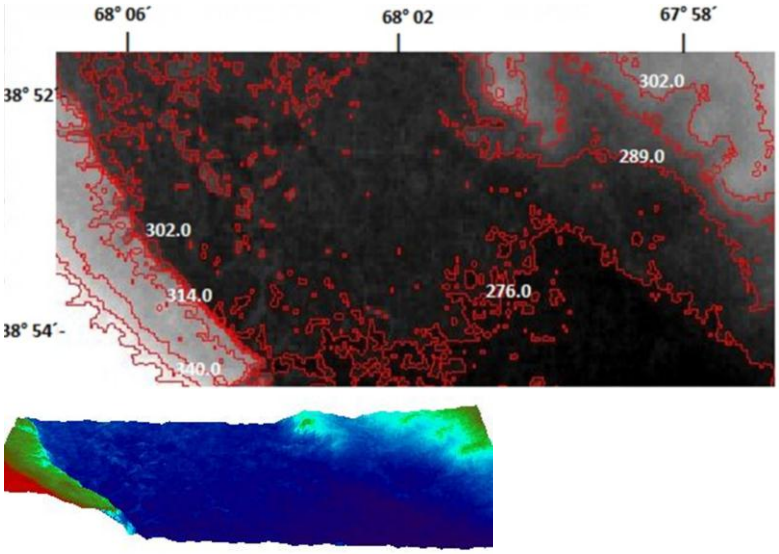


Figura 1: Alturas topográficas (m) (figura superior) y superficie 3D (arriba) del área estudiada del valle del río Neuquén (datos SRTM, USGS).

La información fue adquirida en formato GeoTiff. El nivel de proceso L1T incluye corrección radiométrica, corrección geométrica sistemática y corrección de precisión utilizando puntos de control en superficie y un modelo de elevación digital para corregir el paralaje debido a la topografía. Para la aplicación de la metodología se seleccionó una imagen del 16 de julio de 2001 donde no se detectaba nubosidad sobre el área en

estudio. La información satelital fue corregida para eliminar la influencia de la atmósfera utilizando los resultados del modelo MODTRAN a partir de la aplicación online atmospheric correction calculator (Barsi, et al 2005).

METODOLOGÍA

Teniendo en cuenta el balance de energía en superficie, la energía consumida por los procesos de evapotranspiración se calcula como:

$$ET=LE= Rn - G - H \qquad (1)$$

ET es el calor latente de Evapotranspiración, L es el calor latente de vaporización (2.501 10^6 J Kg^{-1}) y E es la evapotranspiración, H (W m^{-2}) es el flujo de calor sensible en superficie, Rn (W m^{-2}) es la radiación neta, G (W m^{-2}) es el flujo de calor sensible conducido hacia el suelo.
La ventaja de la utilización del balance de energía es que se hace una estimación de la evapotranspiración real y no de la ET potencial, basada en la vegetación, por lo que se pueden incluir las variaciones de ET debidas a la escasez de humedad del suelo. La exactitud de la estimación de energía latente depende de la estimación de Rn, G y H. (Allen et al., 2004).
En este trabajo se calcula la evapotranspiración a la hora de pasaje del satélite (14:00 UTC) como residuo de la ecuación (1).
Rn y G, pueden estimarse a partir del albedo, la emisividad y la temperatura de superficie según ecuaciones (2), (3) y (4) (Boegh et al., 2002).

$$R_n = (1-\alpha)\cdot R_n + \varepsilon_{LS}\cdot\varepsilon_a\cdot\sigma\cdot T^4_a - \varepsilon_{LS}\cdot\sigma\cdot T^4_s \qquad (2)$$

donde α es el albedo calculado según:

$$\alpha_{TOA} = 0.356\,\rho_1 + 0.130\,\rho_3 + 0.373\,\rho_4 + 0.085\,\rho_5 + 0.072\,\rho_7 - 0.018 \qquad (3)$$

donde ρ_i son las reflectancias corregidas atmosféricamente utilizando el módulo FLAASH del programa (ENVI).
El término G puede estimarse como fracción de la radiación neta proporcional a la vegetación según la expresión propuesta por Moran et al. (1989):

$$G = 0.583\, R_n \exp(-2.13\, NDVI) \qquad (4)$$

El NDVI se calculó a partir de la reflectividad de las bandas 3 (0,63 a 0,69 µm) y 4 (0,7 - 0,9 µm) de los satélites LANDSAT 7 ETM+ según (5)

$$NDVI = \frac{(\rho_4 - \rho_3)}{(\rho_4 + \rho_3)} \qquad (5)$$

Las reflectancias de las bandas 3 y 4 utilizadas en el cálculo fueron corregidas utilizando el módulo FLAASH integrado en el sistema de información geográfico

ENVI. FLAASH incorpora para el cálculo el modelo de transferencia radiativa MODTRAN 4 (Liang y Wang, 2012).

La estimación de LE y H reviste mayor complejidad (Wang et al., 2006); en este caso LE se estima como término residual de la ecuación (1) y H a partir de la forma parametrizada (Wang y Liang, 2008):

$$H = \rho C_p (T_s - T_a)/ra \qquad (4)$$

ρ es la densidad del aire (kg/m^3), C_p es el calor específico del aire (1004 J Kg^{-1}K^{-1}) y *ra* es la resistencia aerodinámica del transporte de calor (s m^{-1}), T_s es la temperatura de superficie corregida y T_a es la temperatura del aire (K)(Boegh et al, 2002).

Temperatura de Superficie

El Cálculo de la temperatura de superficie se efectuó aplicando la inversa de la función de Planck. La temperatura de brillo de un objeto cuya radiancia ha sido medida por el sensor puede expresarse para los satélites Landsat como (Li y otros, 2004):

$$T_s = \frac{K_2}{\ln(K_1/L_s + 1)} \qquad \textbf{(5)}$$

donde T_s es la temperatura efectiva del satélite (temperatura de brillo) (°K) y K_1 y K_2 son constantes (para Landsat 7 ETM+, K_1 = 666.09 W/(m^2 sr^{-1} μm^{-1}) y K_2 =1282.71 K (Landsat Project, 2002) y L_s es la radiancia integrada en la longitud de onda.
Los satélites Landsat no proporcionan la temperatura de superficie en forma operativa debido a las limitaciones que surgen al tener una sola banda en el espectro térmico para realizar las correcciones por efectos atmosféricos y de emisividad. Para la corrección atmosférica de la temperatura se utilizó un modelo radiativo mediante una herramienta operativa de corrección atmosférica disponible en línea, (ACP[1]) que permite calcular la transmitancia atmosférica y la radiancia entrante y saliente a partir de los perfiles atmosféricos globales modelados por el NCEP[2] , por lo que la radiancia emitida en la superficie se obtiene por la inversión directa de la ecuación de transferencia radiativa a partir del modelo MODTRAN 4 y una serie de algoritmos de integración (Barsi y otros, 2005):

$$L_{TOA} = \tau\varepsilon L_T + L_u + \tau\,(1-\varepsilon)L_d \qquad \textbf{(6)}$$

Donde τ es la transmisividad atmosférica; ε es la emisividad de la superficie; L_T (W m^{-2}sr^{-1}μm^{-1}) es la radiancia de cuerpo negro del emisor a una temperatura T (K), L_u (W m^{-2} sr^{-1}μm^{-1}) es la radiancia atmosférica ascendente, L_d (W m^{-2}sr^{-1}μm^{-1}) es la radiancia atmosférica descendente y L_{TOA} (W m^{-2}sr^{-1}μm^{-1}) es la radiancia que llega al espacio y es medida por el instrumento.
La emisividad se obtuvo según el método de los umbrales (Sobrino y Raissouni, 2000, Sobrino y otros, 2004, 2008). El método distingue tres clases diferentes de píxeles,

[1] Atmospheric Correction parameter calculator. http://atmcorr.gsfc.nasa.gov

[2] National Center for environmental prediction

píxeles con suelo desnudo, píxeles cubiertos de vegetación y píxeles mezcla. Para píxeles mezcla en el rango de $0.2 \leq NDVI \leq 0.5$ la emisividad se calculó como:

$$\varepsilon = \varepsilon_v P_v + \varepsilon_s (1 - P_v) + d\varepsilon \qquad \textbf{(7)}$$

donde ε_v es la emisividad de la vegetación, ε_s es la emisividad del suelo y P_v es la proporción de vegetación obtenida según (Carlson y Ripley (1997):

$$P_v = \left[\frac{NDVI - NDVI_{\min}}{NDVI_{\max} - NDVI_{\min}} \right]^2 \qquad \textbf{(8)}$$

donde $NDVI_{max}=0.5$ y $NDVI_{min}=0.2$; dε incluye distribución geométrica y reflecciones internas de las superficies:

$$d\varepsilon = (1 - \varepsilon_s)(1 - P_v) F \varepsilon_v \qquad \textbf{(9)}$$

F es el factor de forma. Asumiendo un valor medio para distintas distribuciones geométricas F=0.55; (Sobrino y otros, 2004).
A partir de valores medios de emisividad de suelo, la expresión final para la emisividad en Landsat resulta:

$$\varepsilon = 0.004 P_v + 0.986 \qquad \textbf{(10)}$$

Los valores para todos los umbrales de NDVI se presentan en la Tabla I.

Tabla I: Emisividad para distintos casos de NDVI obtenida según el método de los umbrales Sobrino y otros (2008)

NDVI	**ε**
< 0.2	$0.979 - 0.035 \rho_3$, Sobrino y otros (2008). Suelo desnudo
>0.5	$\varepsilon = 0.99$, 100% vegetación,
$0.2 \leq NDVI \leq 0.5$	$0.986 + 0.04 P_v$ píxeles mezcla

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La complejidad del análisis de cada escena, hace difícil su uso regional en tiempo real, pero los sensores remotos constituyen una herramienta importante en el análisis en escala local.
A zona estudiada se encuentra en un clima árido, por lo que hay que considerar que en a advección o el incremento de la intensidad del viento a la tarde provocaría incrementos en evapotranspiración.
De igual manera, cuando la superficie está húmeda (vegetación y superficies con agua) la evapotranspiración juega un rol importante en el balance de calor. El calor por evaporación se transmite hacia arriba en el flujo turbulento de vapor de agua o flujo de calor latente.
En el trabajo se presenta la situación del 16 de julio de 2001, en ese día se produjeron 4 mm de lluvia, entre las 04:00 y las 11:00 HL, previos a la hora de pasaje del satélite (14:00 UTC, 11:00 HL) por lo que los datos están influenciados por la presencia de

humedad, lo que repercutiría en aumentar los valores en todas las áreas notándose especialmente en la zona de meseta.



Figura 2: Vista en 3D de la superficie para valores de Albedo del día 16 de julio de 2001, calculado según ecuación (2) e información topográfica del modelo de elevación digital SRTM (http://glovis.usgs.gov)

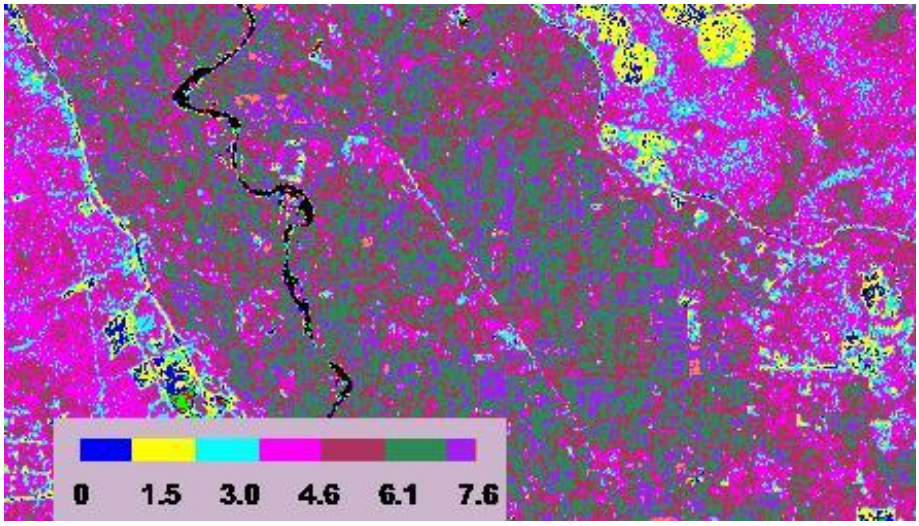


Figura 3: ET mm/día estimado a partir de las imágenes LANDSAT para el 16 de julio de 2001.

En la Figura 2 se presenta una representación en 3D de los valores de albedo, lás áreas más claras asociadas a mayores alturas y borde de la meseta, orientado hacia el este presentan los mayores valores de albedo. Las zonas con mayor vegetación en el interior del valle presentan menor reflección en acuerdo con valores presentados en la literatura. La Figura 3 presenta ET mm/día estimado a partir de las imágenes LANDSAT para el 16 de julio de 2001. Las áreas ubicadas en zonas de chacras, presentan mayor evapotranspiración. En la meseta se distinguen zonas de labranza donde se aplica riego con pivote central con poca vegetación en esa fecha. Las áreas sobre la meseta con vegetación natural dispersa y áreas con caminos se observan con valores mínimos (ver Figura 3) presentan menor evapotranspiración, aunque en este caso se ve aumentada debido a la precipitación.

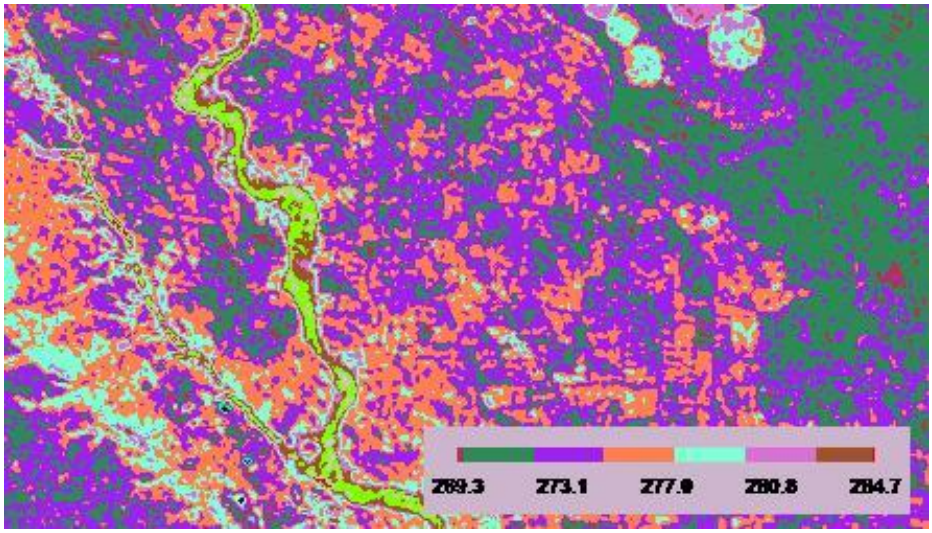


Figura 4: Estimación de Temperatura de superficie para la escena del 16 de julio de 2001 en el área de estudio a las 14:00 HL a partir de imágenes LANDSAT ETM+.

La Figura 4 presenta la estimación de la temperatura de superficie en el área del valle del río Neuquén seleccionada, la zona aledaña al cauce del río presenta gran contraste debido a la mayor capacidad calorífica del agua. La variabilidad espacial de la temperatura de superficie se asocia a los cambios de cobertura del suelo, notándose zonas más cálidas en áreas con suelo descubierto o no totalmente destinados a la agricultura, las áreas más calientes se asocian a las laderas más iluminadas y mayores alturas al oeste sobre la meseta.

CONCLUSIONES:

En el trabajo se presenta una amplia discusión y análisis de la metodología adecuada para su utilización en función de la información Landsat disponible para el cálculo de los componentes de la ecuación de Balance de energía.
La evapotranspiración puede ser obtenida como un residuo de la ecuación de balance de energía, a partir del cálculo de H, G, y R_n con datos de albedo, cubierta vegetal, emisividad y temperatura de superficie, todos calculados a partir de la información espectral de las imágenes LANDSAT ETM+.
Esto permitirá el análisis regional de la zona productiva de los valles aledaños a la ciudad de Neuquén con una resolución espacial de 30 m. En la escena analizada la mayor evapotranspiración se presentó en sectores asociados a zonas productivas en el valle y dada la fecha de la escena (16 de julio) las zonas productivas de hortalizas con riego por pivote central sobre la meseta, presentaron menor vegetación e irrigación.
La estimación del flujo de calor latente presentó la mayor dificultad en el cálculo por lo que se seguirá trabajando en este punto.
En la etapa posterior, se plantea el análisis de escenas en distintas épocas del año y el estudio de las componentes del balance de energía en el área productiva,

REFERENCIAS

Allen, R.G., Tasumi, M, Morse, A. Trezza, R. (2004). A LANDSAT- based Energy balance and evapotranspiration model in Western US water rights regulation and planning. *Irrigation and drainage Systems*. Springer 19:251-268.

Ambast, S. K., Keshari, A. K., & Gosain, A. K. (2002). An operational model for estimating regional evapotranspiration through surface energy partitioning (RESEP). *International Journal of Remote Sensing*, 23(22), 4917-4930.

Barsi, J.A, Schott, J.R, Palluconi, F:D:, Hook, S.J., (2005) Validation of a web-based atmospheric correction tool for single thermal band instruments, Proc. SPIE vol 5882.

Bastiaanssen, W.G.M, Menenti, M., Feddes, R.A & Holslag, A.A.M, 1998. A remote sensing surface energy balance algorithm for land (SEBAL): 1. Formulation. *Journal of Hydrology* 212-213:198-212.

Boegh, E., Soegaard, H., Thomsen, A., (2002). Evaluating evapotranspiration rates and surface conditions using Landsat TM to estimate atmospheric resistance and surface resistance., *Remote Sensing of Environment* 79: 329– 343.

Carlson, T.N. y Ripley, D.A, (1997). On the relation between NDVI fractional vegetation cover and leaf área index, *Remote Sensing Environment*. Vol 62, No 3, págs. 241 – 252.

Cleugh, H. A., Leuning, R., Mu, Q., & Running, S. W. (2007). Regional evaporation estimates from flux tower and MODIS satellite data. *Remote Sensing of Environment*, 106, 285-304.

Dodds, P., Meyer, W., & Barton, A. (2005). A review of methods to estimate irrigated reference crop evapotranspiration across Australia. Technical Report 04/05, CRC for irrigation futures and CSIRO land and water, Adelaide, South Australia.

Liang, S., Li, X., Wang, J., (2012). *Advanced Remote Sensing*. Terrestrial Information Extraction and Applications. Academic Press. Amsterdam. 799pp.

Matsushima, D. (2007). Estimating regional distribution of surface heat fluxes bycombining satellite data and a heat budget model over the Kherlen River Basin, Mongolia. *Journal of Hydrology*, 333, 86-99.

Moran, M.S, Jackson, R.D., Raymond, L.H., Gay, L.W., and Slater, P.N. (1989) Mapping surface energy balance components by combining LANDSAT Thematic Mapper and ground based meteorological data. *Remote Sensing of Environment*. 30, 77-87.

Oliphant, A.J.; Spronken – Smith, R.A.; Sturman, A.P.; Owens, I.F., (2003) Saptial variability of surface radiation fluxes in mountainous terrain. *Journal of applied MEteorology*. American Meteorological SociEty. 42. 113-128.

Sánchez, J.M, Caselles, V., Valor, E. y Coll, C. (2007) Análisis de una mEtodología para la estimación de la evapotranspiración real diaria mediante teledetección a una escala regional. *Revista de Teledetección*, 27: 71-79.

Sobrino J. A. and Raissouni, N. (2000). Toward remote sensing methods for land cover dynamic monitoring: Application to Morocco, *International Journal of Remote Sensing*, Taylor and Francis. vol. 21, No. 2, págs. 353–366

Sobrino, J. A., Jiménez-Muñoz, J. C., Sòria, G., Romaguera, M., Guanter, L., Moreno, J., Plaza, A. and Martínez, P. (2008). Land surface emissivity retrieval from different VNIR and TIR sensors," *IEEE Transactions Geosciences and Remote Sensing*, vol. 46, No. 2, págs. 316–327.

Sobrino, J.A, Gómez, M.; Jimenez-Muñoz, J.C.; Olioso, A.; Chehbouni, G. (2005) A simple algorith to estimate evapotranspiration from DAIS data: Application to the DAISEX campaigns. *Journal of Hydrology* 315: 117-125.

Varni, M., Usunoff, E., Weinzettel, P., & Rivas, R. (1999). The groundwater recharge in the Azul aquifer, central Buenos Aires Province, Argentina. *Physics and Chemistry of the Earth*, 24(4), 349-352.

Wang, K., Liang, S. (2008) An improved method for estimating Global Evapotranspiration bases don satellite determination of Surface net radiation, vegetation index, temperatura and soil moisture. *Journal of Hydrometeorology*, 9: 712-727.

UTILIZACIÓN DE PRODUCTOS TERRA-MODIS PARA EL CÁLCULO DE LA SUPERFICIE NÍVEA EN LA CORDILLERA DEL VIENTO (NEUQUÉN, ARGENTINA)

Cogliati M.G.[a], *Groch D*[a] *y Finessi F.G.*[a]

[a] *Departamento de Geografía, Facultad de Humanidades, Universidad Nacional del Comahue, ARGENTINA*

e-mail: marisa.cogliati@fahu.uncoma.edu.ar

RESUMEN

La cobertura nival en zonas cordilleranas es reconocida como una importante variable hidrológica, la cual puede ser estimada a través de sensores remotos. Este trabajo presenta la utilización de un Método Binario para el cálculo de la superficie nívea en la Cordillera del Viento, en el norte de la provincia del Neuquén para cuatro escenas obtenidas en los años 2000 y 2001. Se emplearon dos subproductos diarios ("Snow Cover" y "Fractional Snow Cover") de cubierta de nieve del sensor MODIS a bordo del satélite TERRA (MOD10A1). Se efectuó una validación de los resultados a partir de imágenes simultáneas del sensor ETM+ a bordo del satélite LANDSAT 7, con mayor resolución espacial, que fueron analizadas mediante el cálculo del NDSI (Normalized Difference Snow Index), el NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) y la temperatura de superficie para la determinación del área cubierta considerando valores de NDSI menor a 0.4, NDVI mayor a 0.1 y temperatura de superficie menor a 277 K, con un método similar al empleado en los productos MODIS.

Se efectuaron mapas de la distribución espacial de las áreas cubiertas para LANDSAT, cubierta de nieve (snow cover) e índice fraccionario de cubierta de nieve (fractional snow cover), de las escenas seleccionadas, a partir de la información brindada por los dos sensores. Las mayores diferencias se presentaron en las zonas con menores áreas cubiertas de nieve. A través de la observación de los datos, se llegó a la conclusión que el subproducto Snow Cover posee para las escenas analizadas, una menor variación en las estimaciones respecto al Fractional Snow Cover, en relación a las imágenes LANDSAT utilizadas como fuente de validación del método.

INTRODUCCIÓN

La cobertura nival en zonas cordilleranas es una importante variable hidrológica, que puede ser estimada a través de sensores remotos. La determinación de la cobertura de nieve es particularmente importante durante primavera y verano en terreno montañoso, ya la nieve puede derretirse rápidamente provocando variaciones espaciales en la disponibilidad de agua de las diversas cuencas.

La zona norte de la Provincia del Neuquén presenta una configuración de terreno compleja, con áreas montañosas, lo que genera una importante variabilidad espacial de las condiciones meteorológicas y climáticas. El relevamiento de la cobertura de nieve en estas zonas es necesario para conocer la variabilidad estacional, y dado que el acceso al área para la instalación de estaciones de superficie es muy dificultoso, la información suministrada por los sensores remotos es muy importante.

Este trabajo presenta la utilización de un Método Binario para el cálculo del área cubierta de nieve, en la zona norte de la provincia del Neuquén en la cordillera de los Andes para cuatro escenas obtenidas en los años 2000 y 2001. Se utilizaron imágenes satelitales ópticas del sensor MODIS del satélite TERRA, lanzado el 18 de diciembre de 1999, como parte del programa EOS (Earth Observatory Station) de la NASA. Los datos de las imágenes ópticas de dicho sensor así como los productos estándar de cobertura nival (MOD10A1), están disponibles desde el año 2000.
Se realizó la validación de los resultados a partir de imágenes simultáneas del sensor ETM+ a bordo del satélite LANDSAT 7, con mayor resolución espacial. Las subescenas fueron elegidas, entre situaciones libres de nubosidad. La utilización de imágenes LANDSAT posibilitó la validación por su resolución espacial (30 m). Se calculó el NDSI (Normalized Difference Snow Index) en la zona, para la determinación del área cubierta de nieve en las imágenes LANDSAT y se obtuvo información comparable a los productos MODIS. Para la validación se contrastó también con la temperatura de superficie obtenida a partir de la banda 6.1 del LANDSAT.
El uso de información satelital óptica en el estudio de cobertura nívea y hielo utilizando el Método Binario fue discutido por diversos autores Dozier, (1989); Hall *et al.*, (2002); Cea *et al*., **(**2006); Hall & Riggs, (2007); Bo-Hui *et al.,* (2013); Rittger *et al.,* (2013). Sin embargo son escasos los estudios realizados comprendiendo áreas de la Patagonia Argentina: De Angelis *et al*., (2007); Lopez *et al.*, (2008).
Dozier (1989) desarrolló inicialmente el NDSI para imágenes LANDSAT, esta metodología comenzó a ser aplicada desde el año 2000 con imágenes TERRA y desde el 2002 con imágenes AQUA (Rittger *et al*., 2013). Hall *et al.* (2001; 2002) describieron los algoritmos utilizados en el mapeo de cubierta nívea, a partir de los productos de nieve MODIS (Riggs *et al.*, 2006).
Rittger *et al.* (2013) realizaron una evaluación de tres métodos de estimación de la cubierta de nieve en imágenes MODIS (Binario, Fraccional y MODSCAG) con el fin de comprobar el grado de precisión de los mismos, utilizando en todos los casos imágenes LANDSAT para su validación. Obteniendo que los métodos Fraccional y MODSCAG, son los que arrojan mejores resultados, en relación a la determinación de área cubierta ya que analizan la reflectancia en relación a la granulometría.
Resultados obtenidos por Cea *et al*., (2006); Bo-Hui *et al., (*2013), presentaron diferencias de 5-45% entre el área estimada por el producto MODIS y la imagen LANDSAT, lo que atribuyeron principalmente a la diferente resolución espacial de ambos sensores
En el presente trabajo, se efectuó el mapeo del área cubierta de nieve en cuatro escenas que incluyen la zona norte de la provincia del Neuquén, seleccionadas en distintos meses, uno con cobertura mínima y otro con cobertura máxima de nieve (invierno y primavera), a partir de la información brindado por dos sensores.

DATOS Y ÁREA DE ESTUDIO

El área de estudio se encuentra comprendida entre los 36º47’S y 37°17’ S, y entre los 70°39’ W y 70°23’ W (ver Fig. 1).
La zona incluyó un sector de la Cordillera del Viento en el norte de la provincia del Neuquén. El área comprende alturas de 1014 m hasta 3143 m s.n.m. En la Figura 1, se presenta la ubicación relativa del área de estudio, y las curvas de nivel generadas a partir del modelo de elevación digital del terreno (USGS (2004).

En este trabajo se utilizaron cuatro imágenes LANDSAT 7 ETM+ y de productos diarios de nieve TERRA-MODIS (MOD10A1), adquiridas en las fechas que se presentan en la Tabla I.
Los productos diarios de cobertura de nieve TERRA-MODIS fueron generados a partir de imágenes del sensor Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) del satélite TERRA (EOS AM-1). Las mismas se obtuvieron del centro de archivos del NSIDC (National Snow and Ice Data Center), disponibles en línea en el sitio web de EOSDIS (Earth Observing System Data and Information System - NASA).

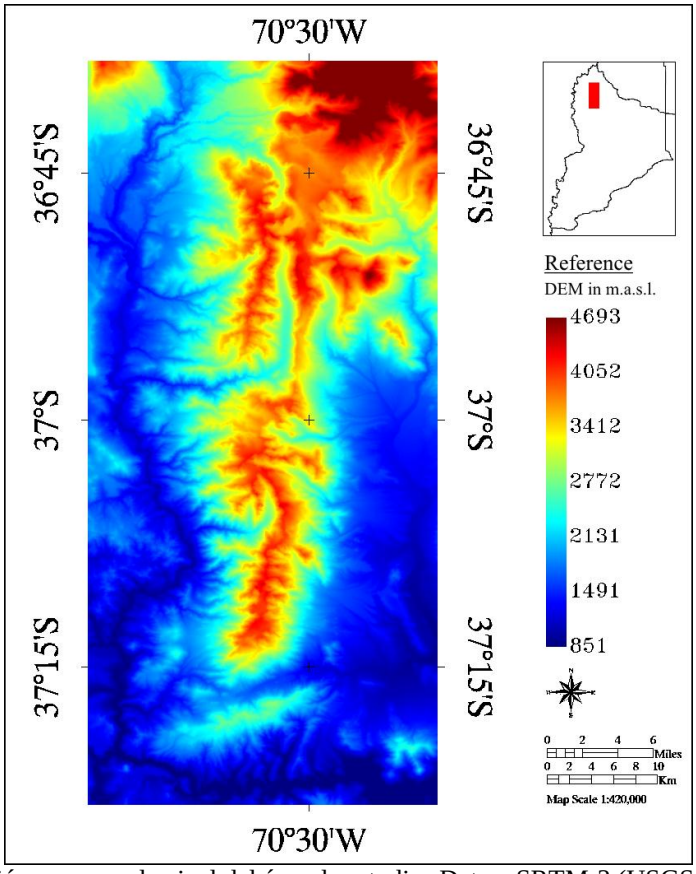


Figura 1: Localización y curvas de nivel del área de estudio -Datos: SRTM-3 (USGS, 2004)-.

Tabla I: Fecha y tipo de análisis de las imágenes LANDSAT 7 ETM+ y TERRA-MODIS (MOD10A1) utilizadas en el análisis.

Datos	Fecha	Ubicación	UTC	Proceso
LANDSAT 7 ETM+	31/08/00	Path 232/ Row 086	14:19	L1T
MOD10A1	31/08/00	h-12/ v-12	14:55	L3
LANDSAT 7 ETM+	19/11/00	Path 232/ Row 086	14:19	L1T
MOD10A1	19/11/00	h-12/ v-12	14:55	L3
LANDSAT 7 ETM+	30/05/01	Path 232/ Row 086	14:19	L1T
MOD10A1	30/05/01	h-12/ v-12	14:55	L3
LANDSAT 7 ETM+	08/12/01	Path 232/ Row 086	14:19	L1T
MOD10A1	08/12/01	h-12/ v-12	14:55	L3

El MOD10A1 presenta cuatro sub-productos, incluyendo Fractional Snow Cover y Snow Cover. El producto incluye una corrección radiométrica y geométrica de los datos del terreno Level 3 (L3), con una resolución espacial de 500 m., Colección 5 (V.5). Las imágenes LANDSAT 7 ETM+ (Enhanced Thematic Mapper Plus) se obtuvieron del USGS (United States Geological Survey)[3]. Las mismas fueron previamente corregidas incluyendo una corrección radiométrica, una geométrica sistemática y una corrección de precisión a través de puntos de control en superficie y un modelo de elevación digital para corregir el paralaje debido a la topografía (L1T)[4].
Para conocer la distribución espacial de la cobertura nival en función de sus rasgos de altitud, exposición y pendiente, se elaboró un mapa del área de estudio con sus distintas variables topográficas a partir del Modelo de Elevación Digital (DEM) Shuttle Radar Topographic Mission 3 (SRTM-3).

METODOLOGÍA

El método Binario utilizado implica el cálculo del índice NDSI (Normalized Difference Snow Index). El índice (NDSI) discrimina píxeles con y sin nieve, y está diseñado para indicar nieve cuando la cobertura nívea del píxel de 500 metros excede ~50% (Hall *et al.*, 2002).

Productos MOD10A1

Los subproductos diarios de nieve Terra-MODIS (MOD10A1) fueron realizados a partir del NDSI, NDVI y la temperatura de superficie, empleando las bandas presentadas en la Tabla II.

Tabla II: Bandas MODIS utilizadas para la obtención de los subproductos. Hall & Riggs (2007).

Banda	Longitud de onda (μm)	Utilidad
1	0,62 - 0,67	NDVI
2	0,841 - 0,876	
4	0,545 - 0,565	NDSI
6	1,628 - 1,672	
31	10,780 - 11,280	Máscara Térmica
32	11,770 - 12,270	

El subproducto Fractional Snow Cover se encuentra basado en una técnica de regresión propuesto por Salomonson & Appel (2004). El área fraccional (en porcentaje) de cada pixel cubierto de nieve es calculado en base a la nubosidad y el NDSI con un rango variable de 1-100.
Los subproductos previamente fueron corregidos geométricamente, reproyectando la grilla sinusoidal a coordenadas geográficas, con un datum WSG-84. Utilizando el sistema de información geográfico ENVI, se realizó una máscara para seleccionar el área de estudio con presencia de nieve en las cuatro fechas consideradas.

[3] http://earthexplorer.usgs.gov/

[4] Level 1 terrain corrected data.

Imágenes LANDSAT 7 ETM+

La determinación de la cubierta nívea con el Método Binario, en las escenas LANDSAT 7 ETM+ se realizó a través de tres pasos, estableciendo diferentes filtros para evitar la clasificación errónea de pixeles mixtos. La Tabla III presenta las bandas utilizadas en la realización del mapa de área cubierta de nieve con información LANDSAT.

Tabla III: Bandas LANDSAT 7 ETM+ utilizadas para generar el mapa de cubierta de nieve. López *et al.*, (2008).

Banda	Longitud de onda (μm)	Utilidad
2	0,525 - 0,605	NDSI
3	0,630 - 0,690	NDVI
4	0,760 - 0,900	
5	1,550 - 1,750	NDSI
6	10,40 - 12,500	T_{sup}.

Para la estimación del NDSI, se calculó la radiancia espectral en el satélite, mediante la Ec.(1):

$$L_S = L_{min} + \left(\frac{D_n}{D_{n\,max}} * (L_{max} - L_{min}) \right) \qquad \textbf{(1)}$$

siendo Ls la radiancia espectral en la banda térmica ($W/(m^{\rho}$ ster μm)) (LANDSAT Project Science Office, 2002), L_{max} =17.040, L_{min} =0.00 (archivo de cabecera de las imágenes), D_n y $D_{n\,max}$ son los niveles digitales y nivel digital máximo de cada escena.

Los valores de reflectancia en superficie de las bandas 2 y 5, se obtuvieron mediante la utilización del modulo FLAASH (Fast Line-of-sight Atmospheric Analysis of Spectral Hypercubes) disponible en el sistema de información geográfica ENVI 5.0, el cual incorpora para el cálculo el modelo de transferencia radiativa MODTRAN 4 (Li *et al.*, 2012) para procesar la escena con corrección al nivel de superficie..

El NDSI se obtuvo en la Ec. (2), según Dozier (1989):

$$NDSI = \frac{(\rho_2 - \rho_5)}{(\rho_2 + \rho_5)} \qquad \textbf{(2)}$$

donde ρ_2 y ρ_5 son la reflectancia corregida de las bandas 2 y 5 respectivamente. Para contrastar la determinación de los pixeles clasificados como nieve, a través del NDSI, se aplicaron las mismas consideraciones que en el caso de los productos MODIS basados en NDVI y temperatura de superficie.

La radiancia corregida se calculó utilizando el modelo MODTRAN disponible online (Barsi *et al.*, 2005), el cual permite convertir la radiancia medida por el satélite en el espacio a la radiancia que es emitida en la superficie según la inversión directa de la Ecuación de transferencia radiativa en la Ec.(3), según Barsi *et al.* (2005)

$$L_{TOA} = \tau \varepsilon L_T + L_u + \tau(1-\varepsilon)L_d \qquad \textbf{(3)}$$

donde τ es la transmisividad atmosférica; ε es la emisividad de la superficie; L_T ($Wm^{-2}sr^{-1}\mu m^{-1}$) es la radiancia de cuerpo negro del emisor a una temperatura (de superficie) (K), L_u ($Wm^{-2}sr^{-1}\mu m^{-1}$) es la radiancia atmosférica ascendente, L_d ($Wm^{-2}sr^{-1}\mu m^{-1}$) es la

radiancia atmosférica descendente y L_{TOA} ($Wm^{-2}sr^{-1}\mu m^{-1}$) es la radiancia que llega al espacio y es medida por el instrumento.
Los valores de transmitancia atmosférica y radiancia entrante y saliente obtenidos online a partir del modelo MODTRAN (http://atmcorr.gsfc.nasa.gov/) (Barsi *et al.*, 2005), son detallados en la Tabla IV.

Tabla IV: Transmisividad atmosférica (τ), L_u y L_d ($Wm^{-2}sr^{-1}\mu m^{-1}$) para las escenas seleccionadas calculadas según Barsi *et al.*, 2005.

Fecha	τ	L_u	L_d
31/08/2000	0.97	0.13	0.23
19/11/2000	0.95	0.28	0.48
30/05/2001	0.95	0.30	0.51
08/12/2001	0.95	0.34	0.59

Para convertir los valores de temperatura de brillo a temperatura cinética de superficie se debe obtener además la emisividad (ε).
La emisividad se obtuvo según el método de los umbrales (Sobrino & Raissouni, 2000, Sobrino *et al.*, 2004, 2008). El método distingue diferentes clases de píxeles, píxeles con suelo desnudo, píxeles cubiertos de vegetación y píxeles mezcla. Para píxeles mezcla en el rango de $0.2 \leq NDVI \leq 0.5$ la emisividad se calculó con la Ec. (4):

$$\varepsilon = \varepsilon_v P_v + \varepsilon_s (1 - P_v) + d\varepsilon \quad \textbf{(4)}$$

donde ε_v es la emisividad de la vegetación, ε_s es la emisividad del suelo y P_v es la proporción de vegetación obtenida en la Ec. (5) según Carlson y Ripley (1997):

$$P_v = \left[\frac{NDVI - NDVI_{\min}}{NDVI_{\max} - NDVI_{\min}} \right]^2 \quad \textbf{(5)}$$

donde $NDVI_{max}=0.5$ y $NDVI_{min}=0.2$; $d\varepsilon$ incluye distribución geométrica y reflecciones internas de las superficies en la Ec. (6):

$$d\varepsilon = (1 - \varepsilon_s)(1 - P_v) F \varepsilon_v \quad \textbf{(6)}$$

Pv se calcula en (5) y ε_s y ε_v. se encuentran en la Tabla V, F es el factor de forma, asumiendo un valor medio para distintas distribuciones geométricas F=0.55.
A partir de valores medios de emisividad de suelo, la expresión final para la emisividad en Landsat resulta de la Ec. (7):

$$\varepsilon = 0.004 P_v + 0.986 \quad \textbf{(7)}$$

Los valores para todos los umbrales de NDVI se presentan en la Tabla V.

Tabla V: Emisividad para distintos casos de NDVI obtenida según el método de los umbrales Sobrino y otros (2008)

NDVI	ε
< 0.2	$0.979 - 0.035\ \rho_3$, Sobrino y otros (2008). Suelo desnudo
>0.5	ε = 0.99, 100% vegetación,
$0.2 \leq NDVI \leq 0.5$	$0.986 + 0.04\ P_v$, píxeles mezcla

El NDVI (Sobrino *et al.,* 2001) se calculó partir de los valores obtenidos en la Ec. (1), con la reflectancia de las bandas 3 y 4 corregidas utilizando el algoritmo FLAASH, disponible en ENVI, según la Ec. (8):

$$NDVI = \frac{(\rho 4 - \rho 3)}{(\rho 4 + \rho 3)} \quad \textbf{(8)}$$

La Temperatura de Superficie, se obtuvo utilizando la Ec. (9):

$$T_s = \frac{K_2}{\ln(K_1/L_s + 1)} \quad \textbf{(9)}$$

donde Ts es la temperatura de superficie (K), K_1 y K_2 son constantes de calibración de pre-lanzamiento (para Landsat 7 ETM+, K_1 = 666.09 Wm^{-2} sr^{-1} mm^{-1}) y K_2 =1282.71 K (LANDSAT Project Science Office, 2002), y Ls es la radiancia en esa longitud de onda obtenido en la Ec. 3 (radiancia corregida).

Para la obtención del área cubierta de nieve se planteó un NDSI mayor a 0.4 y valores de áreas donde los valores de NDVI fueran mayores a 0.1 con temperatura de superficie menor a 277 K.

La nieve posee fuerte reflectancia en el visible y fuerte absorción en el infrarrojo entre 1.4 µm y 3.0 µm. El índice NDSI es una manera efectiva para distinguir la nieve de muchas otras características de la superficie tanto en condiciones de luz o de sombra (Hall et al., 2001). El criterio establecido se basa además en que el NDVI permite distinguir áreas forestales con cobertura de nieve aun cuando los valores del NDSI son inferiores a 0.4 y el NDVI es mayor a 0.1 (Hall *et al.*, 2002) y la temperatura de superficie excluye a los píxeles clasificados como "nieve" pero con una temperatura mayor a 277 K (Hall *et al.*, 2002). Sin embargo, hay autores que incrementan el valor de la temperatura a 280 ó 283 K (Romanov *et al.,* 2000; López *et al.,* 2008). Estos límites fueron analizados y se pudo observar en todos los casos presenta una fuerte sobreestimación de los píxeles clasificados con nieve. Teniendo en cuenta además que en el trabajo se buscaba efectuar una comparación entre los resultados del producto MODIS y la estimación LANDSAT, se utilizó para la selección el mismo criterio utilizado en la definición de área cubierta de nieve del producto MODIS, con una temperatura de mayor a 277K para la clasificación.

El mapa final de cubierta de nieve para las imágenes LANDSAT, se realizó asignando el valor 200 a lo que se correspondería con nieve y 0 al resto de los pixeles con otro tipo de información y se realizó la comparación cuantitativa entre las imágenes y los subproductos.

Las estimaciones realizadas a partir del subproducto MOD10A1, las escenas LANDSAT y los correspondientes filtros, permitieron la realización de diversos mapas de cubertura nívea.

DISCUSIÓN Y RESULTADOS

Las Figuras 2 y 3 presentan las áreas cubiertas de nieve estimadas a partir del procedimiento detallado en la sección anterior para las imágenes LANDSAT (izquierda) y los productos MOD01A1 Snow Cover (centro) y Fractional Snow Cover (derecha), observándose la correspondencia espacial de las áreas estimadas y sus variaciones.

La Tabla VI muestra la superficie cubierta de nieve total obtenida para cada una de las escenas analizadas y las diferencias entre las áreas estimadas con cada sensor, en Agosto y Diciembre se presentó el mejor ajuste entre ambos sensores. En la Figura 2 se

puede visualizar las variaciones estacionales,en las escenas coincidentes con la temporada invernal y estival. Comparando los mapas de cubierta nívea de los productos MODIS con los mapas LANDSAT. En las escenas correspondientes a mayo, agosto y diciembre se observó una subestimación de las áreas cubiertas, teniendo la mayor variación en las escenas de mayo (-16%). Sólo en noviembre se observó una sobreestimación del área, en un 29 y 26% correspondientes a los productos Snow Cover y Fractional Snow Cover respectivamente.
En la escena de diciembre de 2001 el análisis de la imagen LANDSAT detectó un área de 10.19 km², la menor área cubierta, representando aproximadamente el 0.67 % del área máxima observada en mayo en la que se estimó un área de 1529,67 km².
El subproducto Snow Cover se ajustó mejor que el Fractional Snow Cover en las escenas analizadas, en comparación con las imágenes LANDSAT a excepción de la escena del mes de noviembre.

Tabla VI: Superficie cubierta de nieve (A) estimada a partir de las imágenes MODIS (A_{MODIS}) y LANDSAT ($A_{LANDSAT}$).

Superficie Cubierta de Nieve			
Datos	**Fecha**	**A (km²)**	**$\Delta(A_{MODIS}-A_{LANDSAT})$ (%)**
Landsat 7 ETM+	31/08/2000	1092.42	-
MOD10A1 - Snow Cover		1057.07	-3.24
MOD10A1 - Fractional Snow Cover		1046.37	-4.22
Landsat 7 ETM+	19/11/2000	116.40	-
MOD10A1 - Snow Cover		151.01	29.73
MOD10A1 - Fractional Snow Cover		147.12	26.39
Landsat 7 ETM+	30/05/2001	1529.67	-
MOD10A1 - Snow Cover		1280.75	-16.27
MOD10A1 - Fractional Snow Cover		1276.62	-16.54
Landsat 7 ETM+	08/12/2001	10.19	-
MOD10A1 - Snow Cover		9.90	-2.78
MOD10A1 - Fractional Snow Cover		9.49	-6.86

Cabe mencionar que por su resolución espacial de 500 m, el sensor MODIS, no puede detectar pequeñas áreas de cobertura de nieve, que pueden ser delimitadas por el LANDSAT con 30 m de resolución espacial, y por otro lado en casos con poca cobertura de nieve la detección de nieve en un área puede acarrear una sobreestimación, al atribuirle un área mayor a la real debido a la baja resolución espacial. Esto se observa en el hecho de que pixeles clasificados como nieve en las imágenes LANDSAT, no se detectan en los productos MOD10A1.
La superficie calculada por los subproductos MOD10A1 para noviembre fue superior a la calculada en el caso de LANDSAT. Esto se debería a la presencia de píxeles mixtos, afectados por la resolución espacial y la existencia de una superficie boscosa densa, los cuales inducirían errores.

Figura 2: Área cubierta de nieve obtenida del LANDSAT 7 ETM+ (a) y (d) -izquierda-, producto MOD10A1 Snow Cover (b) y (e) -centro-, y producto MOD10A1 Fractional Snow Cover (c) y (f) -derecha-, para el 31/08/00 (a), (b) y (c) -arriba- y el 19/11/00 (d), (e) y (f) –abajo-.

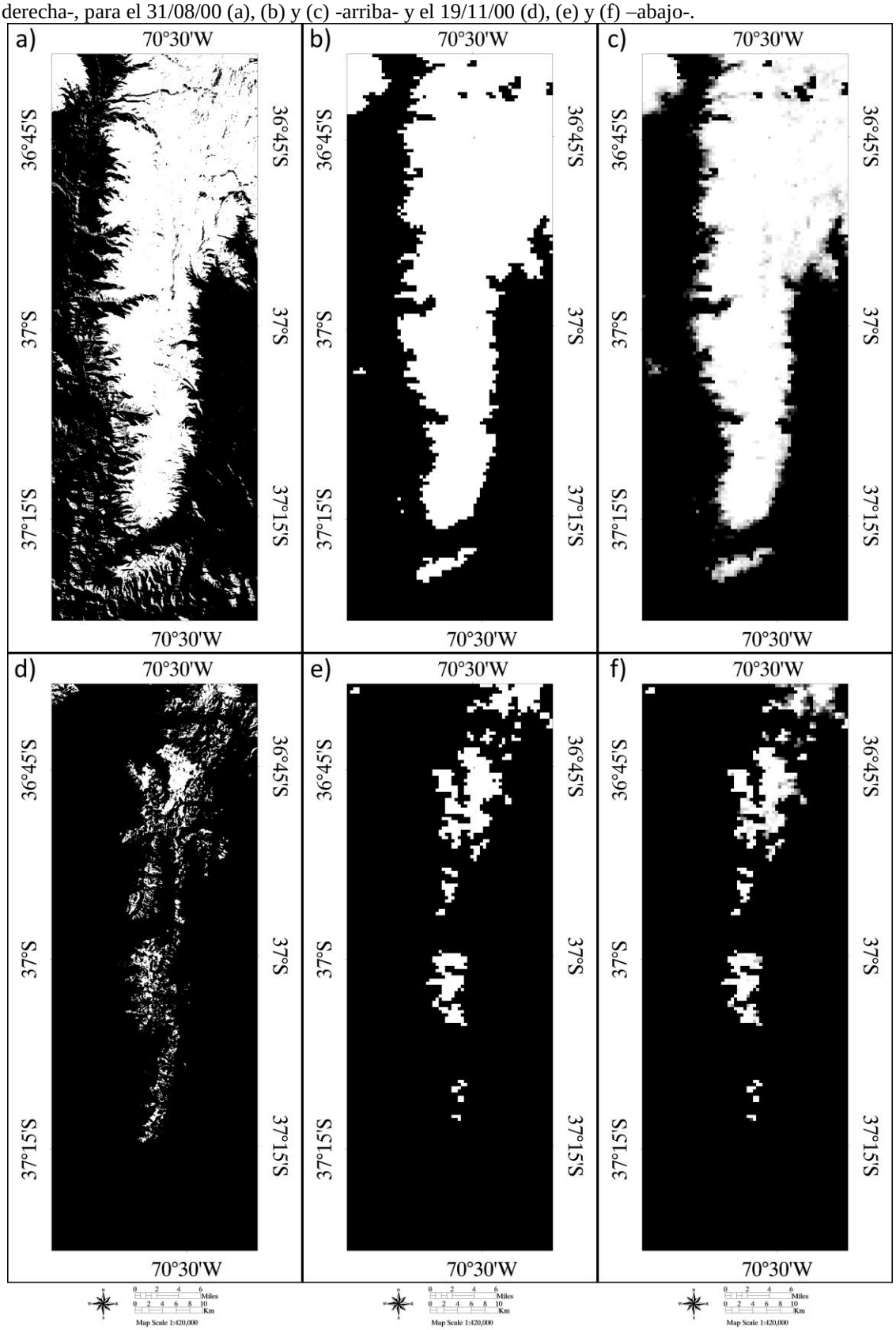
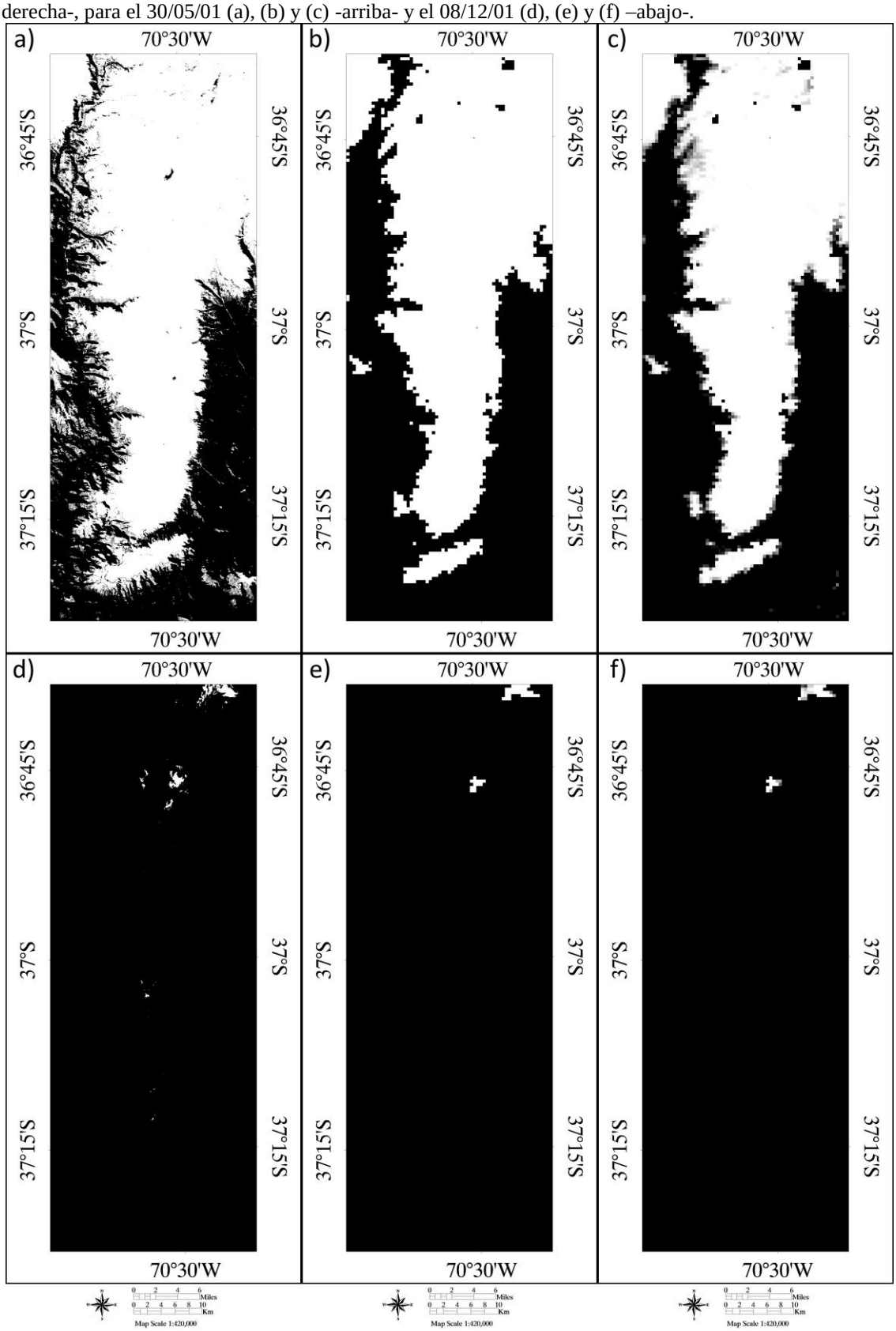


Figura 3: Área cubierta de nieve obtenida del LANDSAT 7 ETM+ (a) y (d) -izquierda-, producto MOD10A1 Snow Cover (b) y (e) -centro-, y producto MOD10A1 Fractional Snow Cover (c) y (f) -derecha-, para el 30/05/01 (a), (b) y (c) -arriba- y el 08/12/01 (d), (e) y (f) –abajo-.



CONCLUSIONES

El trabajo presenta el análisis del área cubierta de nieve en la cordillera del viento, utilizando los subproductos Snow Cover y Fractional Snow Cover del producto MOD10A1 del satélite TERRA-MODIS e imágenes LANDSAT 7 ETM+ con mayor resolución espacial para su validación.

Los resultados de los productos Snow Cover y Fractional Snow Cover presentaron respecto de las estimaciones obtenidas con el satélite LANDSAT, una subestimación en las escenas correspondientes a mayo (16%), agosto (3 y 4%) y diciembre (2 y 6%). Sólo en noviembre se observó una sobreestimación del área (26 y 29%).

Estos valores, presentaron similitud con los resultados obtenidos por Cea et al., (2006) y Bo-Hui et al., (2013), en diferentes regiones geográficas del planeta.

Si bien, los productos MODIS son ampliamente utilizados en diversos estudios, su uso en el caso de áreas con terreno complejo se asociaría con errores en el cálculo de área cubierta de nieve.

Las mayores diferencias entre ambos sensores se presentaron cuando el área cubierta de nieve es menor, lo que se debería a que la resolución espacial de los sensores MODIS (500 m), no puede detectar pequeñas áreas de cobertura nívea.

La resolución espacial de las escenas analizadas afectaría claramente el producto final en ambos subproductos, sin embargo, los mismos representaron una fuente de información muy valiosa para la detección nívea gracias a la resolución temporal diaria que poseen.

REFERENCIAS

Barsi J.A., Schott J.R., Palluconi F.D. and Hook S.J., 2005. Validation of a web-based atmospheric correction tool for single thermal band instruments. *Earth Observing Systems X. Proceedings of SPIE*, **5882**, 1-7.

Bo-Hui T., Basanta S., Zhao-Liang L., Gaohuan L., Hua O., Deo R. G., Amarnath G. and Khun S.A., 2013. Determination of snow cover from MODIS data for the Tibetan Plateau región. *Applied Earth Observation and Geoinformation*, **21**, 356-365.

Carlson, T.N., & Ripley, D.A., 1997. On the relation between NDVI, fractional vegetation cover, and leaf area index. *Remote Sensing of Environment*, **62**, 241– 252.

Cea C., Cristóbal J. and Pons X., 2006. Mejoras en la determinación de la cubierta nival mediante imágenes Landsat y Modis. En: Camacho Olmedo, M.T., J.A. Cañete Pérez, J.J. Lara Valle (Eds.). *El acceso a la información espacial y las nuevas tecnologías geográficas*, 65-78. ISBN: 84-333-3944-6. Depósito legal: GR-1855-2006.

De Angelis H., Rau F. and Skvarca P., 2007. Snow zonation on Hielo Patagónico Sur, Southern Patagonia, derived from Landsat 5 TM data. *Global and Planetary Change*, **59**, 149-158.

Dozier J., 1989. Spectral Signature of Alpine Snow Cover from the Landsat Thematic Mapper. *Remote Sensing of Environment*, **28**, 9-22.

Hall D.K. and Riggs G.A., 2007. Accuracy assessment of the MODIS snow products. *Hydrologycal Processes*, **21**, 1534-1547.

Hall D.K., Riggs G.A. and Salomonson V.V., 2001. Algorithm Theoretical Basis Document (ATBD) for the MODIS Snow and Sea Ice-Mapping Algorithms. *NASA's Goddard Space Flight Center, Greenbelt, MD.*,1-45.

Hall D.K., Riggs G.A., Salomonson V.V., Digirolamo N.E. and Bayr K.J., 2002. MODIS snow-cover products. *Remote Sensing of Environment*, **83**, 181-194.

LANDSAT Project Science Office, 2002. Landsat 7 Science Data User's Handbook. *NASA's Goddard Space Flight Center, Greenbelt, MD*, 1-186.

Li, Z-L., Wu, H., Wang, N., Qiu, S., Sobrino, J.A., Wan, Z., Tang, B-H. & Yan, G., 2012. Land surface emissivity retrieval from satellite data. *International Journal of Remote Sensing*, **34**, 1-44.

Lopez P., Sirguey P., Arnaud Y., Pouyaud B. and Chevallier P., 2008. Snow cover monitoring in the Northern Patagonia Icefield using MODIS satellite images (2000-2006). *Global and Planetary Change*, **61**, 103-116.

Riggs G.A., Hall D.K. and Salomonson V.V., 2006. MODIS Snow Products User Guide to Collection 5. The MODIS Snow and Sea Ice Global Mapping Project. *NASA's Goddard Space Flight Center, Greenbelt, MD.* 1-80.

Rittger K., Painter T.H. and Dozier J., 2013. Assessment of methods for mapping snow cover from MODIS. *Advances in Water Resources*, **51**, 367-380.

Romanov P., Gutman G. and Csiszar I., 2000. Automated Monitoring of Snow Cover over North America with Multispectral Satellite Data. *American Meteorological Society. Journal of Applied Meteorology*, **39**, 1866-1880.

Salomonson, V.V. & Appel, I., 2004. Estimating Fractional Snow Cover From MODIS Using the Normalized Difference Snow Index (NDSI). *Remote Sensing of the Environment.* **89**, 351-360.

Sobrino J.A., Jiménez-Muñoz, J.C., Sòria, G., Romaguera, M., Guanter, L., Moreno, J., Plaza, A. & Martínez, P., 2008. Land surface emissivity retrieval from different VNIR and TIR sensors. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, **46**, 316-327.

Sobrino, J.A., Jiménez-Muñoz, J.C. & Paolini, L., 2004. Land surface temperature retrieval from LANDSAT TM 5. *Remote Sensing of Environment*, **90**, 434–440.

Sobrino J.A., Raissouni N. & Li Z., 2001. A comparative study of land surface emissivity retrieval from NOAA data. *Remote Sensing of Environment*, **75**, 256-266.

Sobrino, J.A. & Raissouni N., 2000. Toward remote sensing methods for land cover dynamic monitoring: Application to Morocco. *International Journal of Remote Sensing*, **21**, 353-366.

USGS, 2004. Shuttle Radar Topography Mission, 1 Arc Second scene SRTM_u03_n008e004, Unfilled Unfinished 2.0. *Global Land Cover Facility*, University of Maryland, College Park, Maryland, February 2000.

ESTIMACIÓN NUMÉRICA DE PARÁMETROS HIDRÁULICOS EN LA CUENCA MATANZA RIACHUELO MEDIANTE EL MÉTODO DE MAREA INDUCIDA

Cuello J. E. [a], *Monachesi L. B.* [a,b] *y Guarracino, L.* [a,b]

[a] *Facultad de Ciencias Astronómicas y Geofísicas, Universidad Nacional de la Plata, ARGENTINA*
[b] *Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), ARGENTINA*

e-mail: julianecuello@gmail.com

RESUMEN

El método de marea inducida es una técnica alternativa a los tradicionales ensayos de bombeo que puede utilizarse para la caracterización hidráulica de acuíferos costeros. Este método tiene la ventaja de ser muy poco invasivo y por ello puede aplicarse en zonas afectadas por la intrusión salina o la contaminación antrópica. El objetivo del trabajo es la estimación de parámetros hidráulicos utilizando la técnica de marea inducida en sectores afectados por la marea en la cuenca Matanza Riachuelo. Los datos empleados para el estudio han sido obtenidos en el marco del Proyecto "Aguas Subterráneas en la Cuenca Matanza Riachuelo" que llevan a cabo la Autoridad de Cuenca ACUMAR y la Comisión de Investigaciones Científicas de la Provincia de Buenos Aires CIC. Para describir el fenómeno de interacción hidráulica río-acuífero se desarrolló un código computacional basado en el método de elementos finitos que resuelve la ecuación de flujo 1D en el dominio del tiempo utilizando como condición de borde la marea observada en el río. Luego, mediante un método de tipo Montecarlo, se estimó el valor de difusividad que mejor ajusta la serie temporal simulada a la señal registrada en un pozo de monitoreo cercano a la costa. Los resultados de esta estimación son muy alentadores y resultan consistentes con las características hidráulicas de la zona determinadas mediante ensayos de bombeo.

INTRODUCCIÓN

La cuenca Matanza Riachuelo tiene una extensión aproximada de 2300 km^2 y abarca 14 municipios de la provincia de Buenos Aires, más la Ciudad Autónoma de Buenos Aires (ver Fig. 1). Dentro de sus límites geográficos viven alrededor de 5 millones de personas y se asientan aproximadamente unas 15 mil fábricas. La contaminación de la cuenca es significativamente elevada al punto de haber sido considerada por el Instituto Blacksmith y la Cruz Verde Suiza como uno de los 10 lugares más contaminados del planeta. El presente trabajo se enmarca en el Proyecto "Aguas Subterráneas en la Cuenca Matanza Riachuelo" que llevan a cabo de manera conjunta la ACUMAR y la CIC. Dicho proyecto se centra en el estudio de las aguas subterráneas ya que se trata de uno de los componentes del sistema natural más afectados por el crecimiento poblacional y a su vez uno de los menos estudiados. Dada la multiplicidad de factores que se deben tener en cuenta para llevar a cabo este proyecto es necesario la participación de profesionales de diversas especialidades: ingenieros, geólogos, geoquímicos, geofísicos, etc. En este contexto la Geofísica como disciplina puede

aportar herramientas muy valiosas para lograr un mayor entendimiento de los procesos de flujo y su caracterización dentro de este complejo escenario hidrológico.

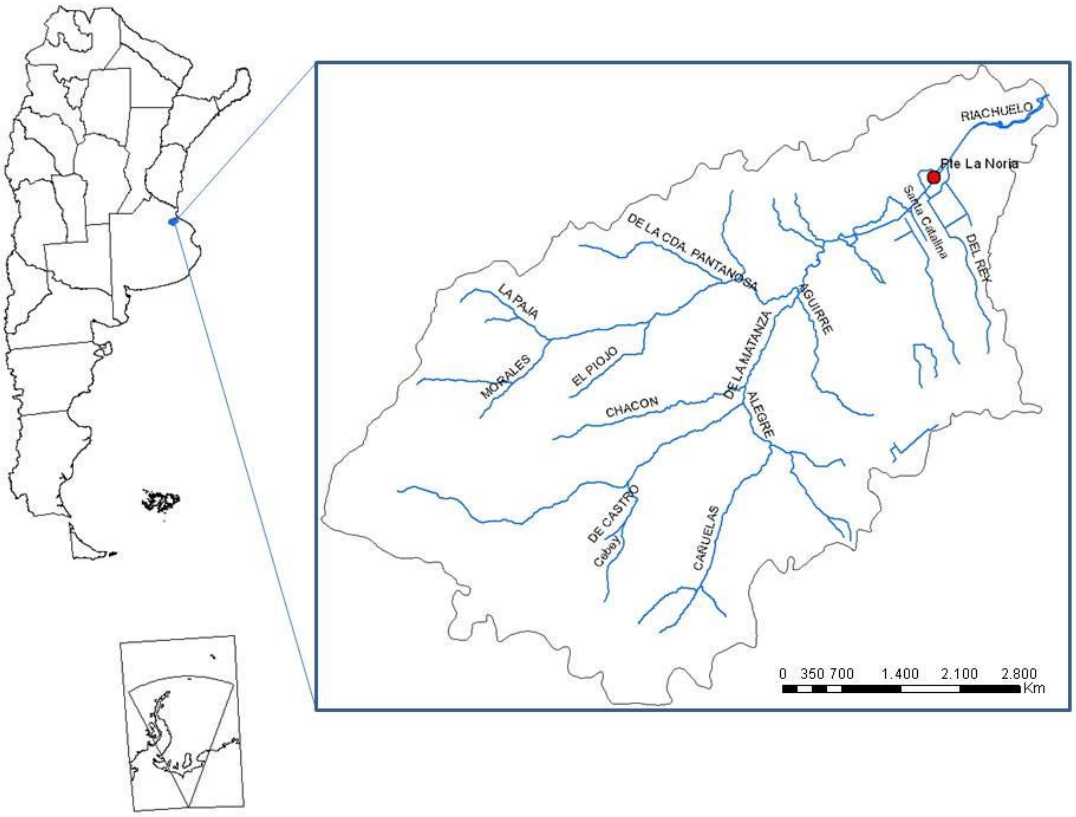


Figura 1 – Ubicación de la Cuenca Matanza Riachuelo y punto de medición (en rojo).

El objetivo general del presente trabajo es la presentación de los fundamentos de la técnica de marea inducida para la caracterización hidráulica de los acuíferos que constituyen la cuenca. En particular, se realizará una estimación de los parámetros hidráulicos en una zona cercana a la costa del Riachuelo, a la altura del Puente la Noria, donde ACUMAR posee una estación de monitoreo continuo (ver Fig. 1)

Tradicionalmente, se utilizan los ensayos de bombeo para obtener parámetros hidráulicos del subsuelo. Sin embargo tienen la desventaja de no poder utilizarse en zonas costeras donde existe peligro de intrusión salina, o en zonas contaminadas, donde el volumen de agua bombeada debe ser transportada y reubicada constituyendo una fuente potencial de contaminación (Jha M.K. et al., 2003). Para obtener los parámetros hidráulicos se propone una técnica alternativa denominada *método de marea inducida.* En líneas generales, esta técnica se basa en el análisis de las fluctuaciones de altura piezométrica observadas en pozos como respuesta a las fluctuaciones del nivel del río debidas a la marea (Jacob, C.E, 1950; Ferris , J.G., 1951). Esta respuesta se traduce en cambios espacio-temporales de amplitud y fase que en general pueden ser fácilmente detectables cerca de la costa. La difusividad hidráulica, parámetro que controla el fenómeno de interacción río-acuífero, puede ser estimada mediante la inversión de los datos registrados en pozos utilizando modelos analíticos y/o numéricos.

En el presente trabajo la interacción hidráulica río-acuífero ha sido modelada mediante un código computacional desarrollado recientemente que resuelve numéricamente la ecuación general de flujo unidimensional en un acuífero confinado heterogéneo (Cuello J.E. et al., 2014).
Para estimar la difusividad hidráulica se utilizaron datos de altura hidrométrica del río de la estación de ACUMAR ubicada en Puente la Noria, junto con las variaciones de altura piezométrica registradas en un pozo de monitoreo ubicado a pocos metros de la costa. Finalmente, los resultados se contrastaron con valores obtenidos por otros autores.

MÉTODO

Planteo del Problema

Para modelar el efecto de marea inducida consideramos un modelo simplificado de acuífero costero, como el que se ilustra en la Fig. 2. El acuífero es horizontal, de longitud total *L*, y su base y techo se encuentran impermeabilizados (acuífero confinado).

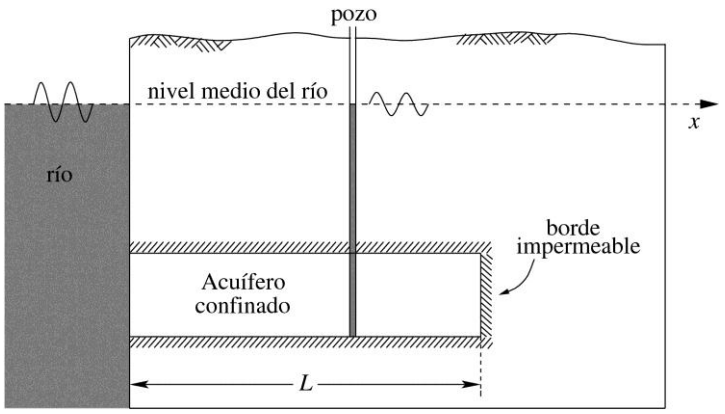


Figura 2 – Representación esquemática de un acuífero confinado.

Cabe mencionar que este modelo es relativamente simple en comparación con el sistema acuífero real que se pretende estudiar. Para describir con mayor precisión dicho sistema es necesario tener en cuenta fenómenos tales como el goteo (leakage), resultante de la interacción entre el acuífero y la capa superior, y el efecto de la carga de los sedimentos del río, entre otros. Sin embargo, y tal como se muestra en este trabajo, podemos lograr una buena caracterización hidráulica del sistema con el modelo propuesto.

El flujo inducido por la marea en un acuífero confinado unidimensional se describe mediante las siguientes ecuaciones (Bear, 1988):

$$\frac{\partial q(x,t)}{\partial x} + S_s(x)\frac{\partial h(x,t)}{\partial t} = 0, \quad (1)$$

$$q(x,t) + K(x)\frac{\partial h(x,t)}{\partial x} = 0, \quad (2)$$

donde q es el flujo de agua [LT^{-1}], h la altura piezométrica en relación al nivel medio del río [L], S_s el almacenamiento específico [L^{-1}], K la conductividad hidráulica [LT^{-1}], x la distancia a la línea de costa [L] y t el tiempo [T]. El cociente entre la conductividad hidráulica y el almacenamiento específico define la constante de difusión o *difusividad* $D=K/S_s$ [L^2T^{-1}].

Para resolver las ecuaciones (1) y (2) en forma simultánea en el dominio espacial considerado ($0 \le x \le L$) y durante el intervalo de tiempo T ($0 \le t \le T$) es necesario imponer condiciones de borde y condiciones iniciales. La condición de borde en el contacto río-acuífero vendrá dada por la oscilación de marea:

$$h(0,t) = f(t) \quad (3)$$

En el extremo derecho del acuífero la condición impuesta será:

$$q(L,t) = 0, \quad (4)$$

la cual establece que el flujo es nulo en $x=L$ y para todo tiempo t (borde impermeable de la Fig. 2). Para completar el planteo matemático del problema resta establecer la condición inicial que asumiremos:

$$h(x,0) = 0, \quad (5)$$

esto es que para todo x la altura piezométrica coincide inicialmente con el nivel medio del río (ver Fig. 2).

La resolución numérica del problema diferencial (1)-(5) se lleva a cabo mediante un procedimiento híbrido mixto de elementos finitos. Este método garantiza la conservación local de masa y permite manejar grandes discontinuidades en los parámetros hidráulicos (Guarracino L., 2001). El código computacional fue implementado en lenguaje Fortran. A partir de una distribución de parámetros hidráulicos el código permite obtener de manera rápida y eficiente los campos de altura de presión y flujo en función del espacio y del tiempo. Dichos campos pueden cotejarse con datos registrados en pozos y mediante alguna técnica de inversión obtener los valores de los parámetros hidráulicos que minimicen el error entre ellos.

Análisis de los Datos

En la Fig. 3 se muestran las variaciones de altura del río respecto a su valor medio (-0.47m) registradas por un mareógrafo ubicado en Puente la Noria (ver Fig. 1). La serie

temporal tiene una duración de 7 días, un intervalo de muestreo de 10 minutos y fue registrada durante el mes de marzo del corriente año.

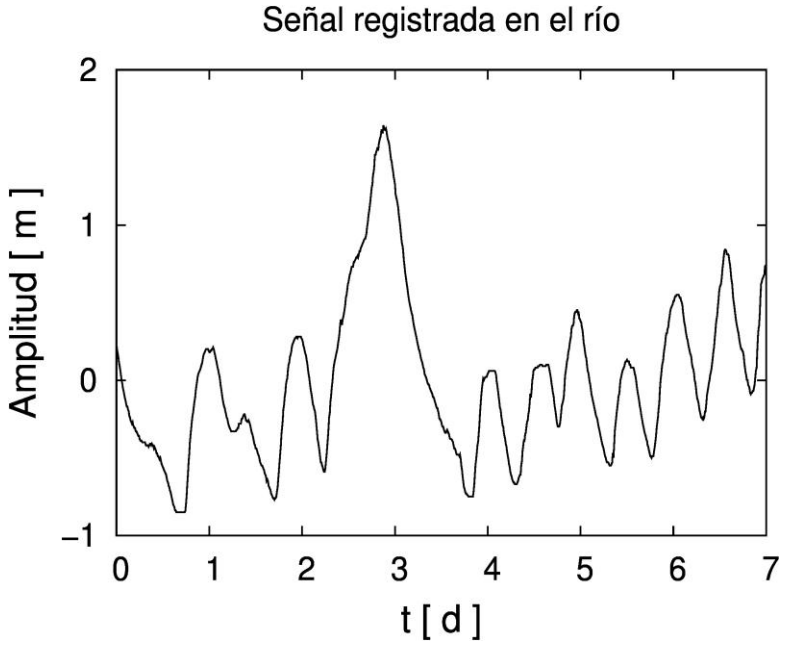


Figura 3– Datos obtenidos con mareógrafo. .

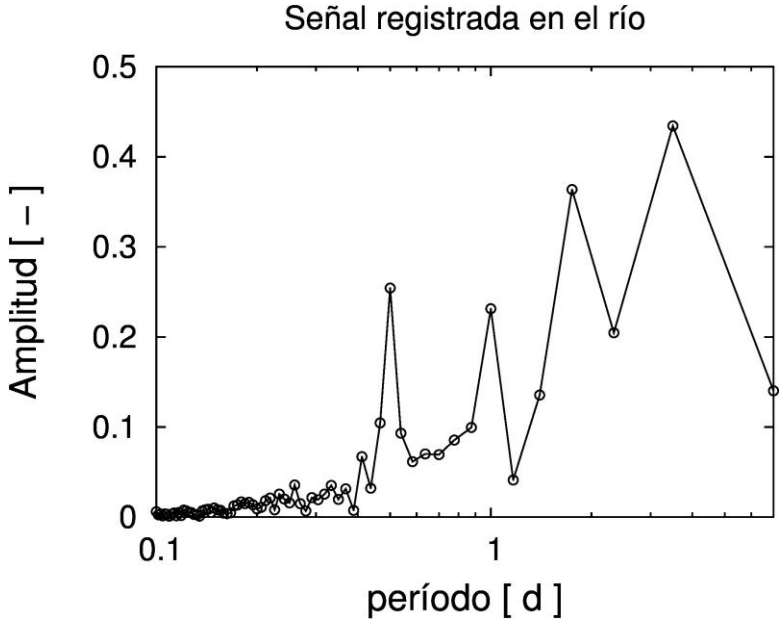


Figura 4- Espectro de amplitud.

En la Fig. 4 se muestra el espectro de amplitud de la señal normalizado por su valor máximo, en función del período en días. Notar que el aporte mayoritario a la energía de la señal proviene de componentes de períodos semi-diurno y diurno debidas a la marea astronómica. La componente semi-diurna, que en general es la que mejor se observa, es la más utilizada para la estimación de parámetros hidráulicos con el método de marea inducida.

En la Fig. 5 se muestran las variaciones de altura piezométrica respecto a su valor medio (-1,47m) registradas en un pozo de monitoreo a 52 metros de la línea de costa. Los datos fueron muestreados con el mismo intervalo temporal y durante el mismo período que los datos obtenidos por el mareógrafo . En la Fig. 6 podemos visualizar el espectro de amplitud de la señal del pozo en función del período.

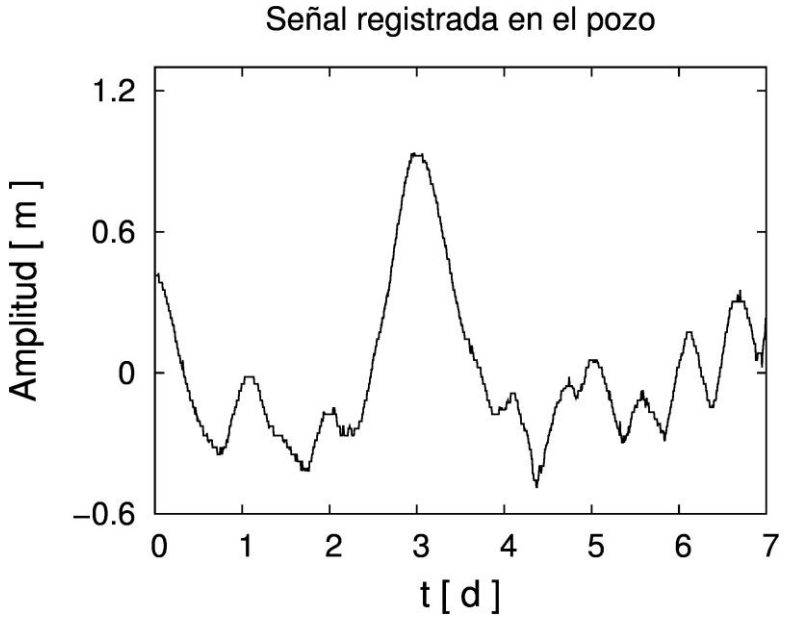


Figura 5– Datos obtenidos con sensores de presión.

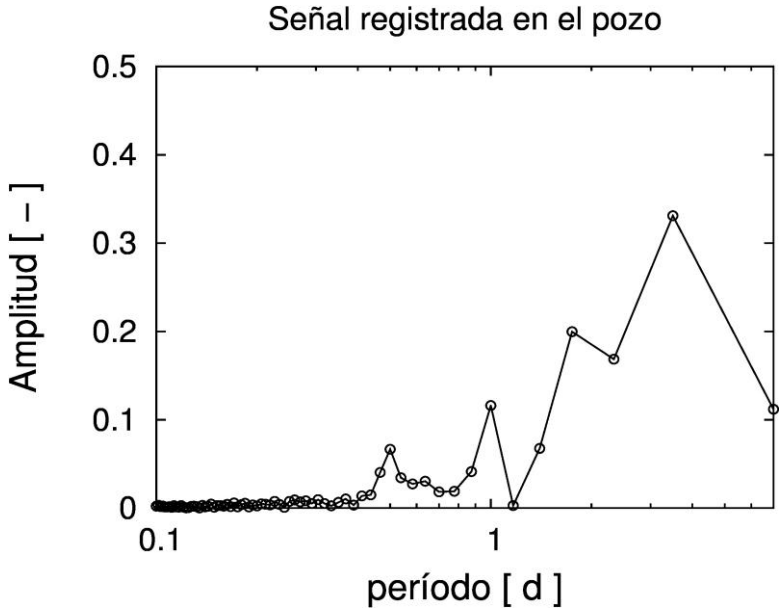


Figura 6- Espectro de amplitud.

Obsérvese que la variación temporal de ambas señales (Fig. 3 y Fig. 5) siguen el mismo patrón. Si se compara la amplitud de ambas señales se observa que la correspondiente al pozo es marcadamente menor y presenta un leve desfasaje respecto a la señal del río. Comparando los espectros de amplitud (Fig. 4 y Fig. 6) podemos corroborar que la energía de la señal del pozo se ve atenuada en todo el rango del espectro. Notar, por ejemplo, que para la componente semi-diurna (~0.5 d) el cociente de amplitudes entre el río y el pozo es 3.5.

RESULTADOS

Utilizando la condición de borde dada por la señal del mareógrafo, el código numérico propuesto permite predecir las fluctuaciones de altura piezométrica en las coordenadas del pozo (a 52m de la línea de costa). Asumiendo que el acuífero es homogéneo se efectuaron simulaciones Montecarlo para diferentes valores de difusividad del acuífero. El rango de valores de difusividad considerados corresponden al intervalo [10^3 m^2/d - 10^5 m^2/d]. Minimizando el error absoluto entre la solución numérica simulada y el dato real es posible obtener el valor de difusividad que mejor representa las características hidráulicas locales del acuífero. El valor obtenido es D = 1.1286×10^4 m^2/d, y como puede verse en la Fig. 7 permite reproducir satisfactoriamente los datos registrados en el pozo. Para este valor de difusividad, el error es 3.39×10^{-3} m.

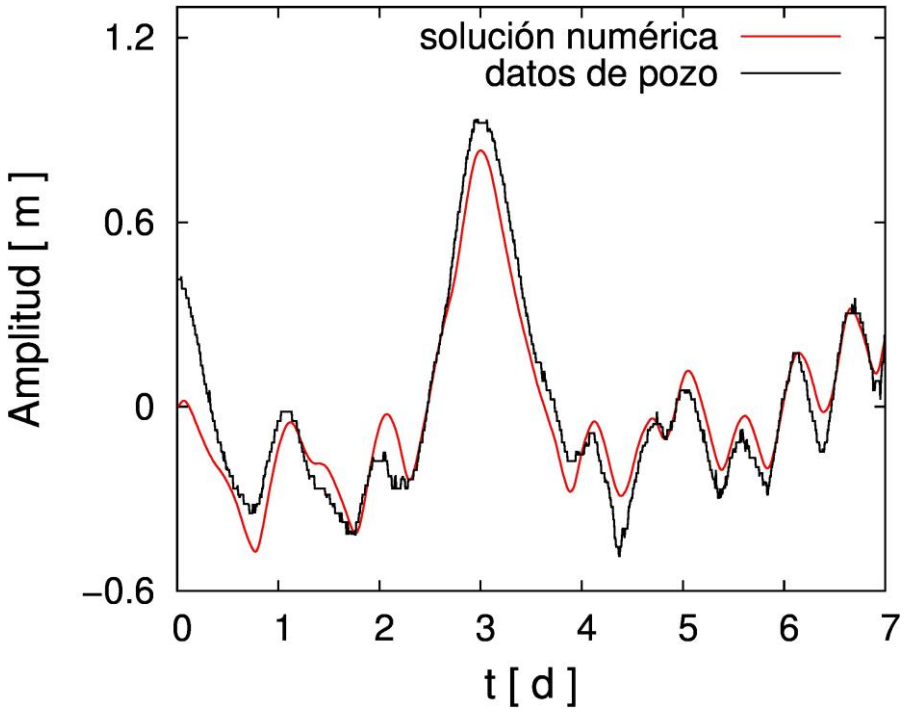


Figura 7– Ajuste de la señal numérica a la señal observada en pozo.

DISCUSIÓN

En un trabajo reciente se han estimado valores de almacenamiento específico para los acuíferos de la zona (Guarracino L. et al., 2014). Estos valores fueron obtenidos a partir de las propiedades elásticas de las rocas derivadas de sus características texturales. En rasgos generales, el sistema acuífero de la zona está constituido por 2 unidades bien diferenciadas: el acuífero Pampeano (acuífero libre) y las arenas Puelches. Las variaciones de altura piezométrica registradas en el pozo de monitoreo corresponden al acuífero Puelche, el cual se encuentra a unos 45 metros de profundidad. El almacenamiento específico estimado por Guarracino et al., 2014 para las arenas puelches es de 2.77×10^{-4} m^{-1}. Utilizando el valor de difusividad estimado ($D=1.1286x10^4$ m^2/d), la conductividad hidráulica resulta en este caso 3.13 m/d.

Mediante ensayos de bombeo Auge M.P., 2001 determinó, para el acuífero Puelche, valores de conductividad hidráulica comprendidos en el rango 9 m/d - 57 m/d. Como puede verse el valor de conductividad hidráulica estimada en este trabajo (3,13 m/d) está fuera del rango determinado por Auge. Esta discrepancia se debe a la simplicidad del modelo conceptual propuesto. Con el objeto de lograr una mejor descripción del fenómeno es necesario tener en cuenta procesos que el presente modelo no contempla, como por ejemplo el efecto de la carga de los sedimentos del río y el goteo. Sin embargo, como puede verse en la Fig. 7, el valor de difusividad estimada permite predecir satisfactoriamente los datos registrados en el pozo de monitoreo.

CONCLUSIONES

En este trabajo se ha realizado una estimación numérica de parámetros hidráulicos utilizando la técnica de marea inducida en sectores afectados por la marea en la cuenca Matanza Riachuelo. El método propuesto se basa en la resolución de la ecuación de flujo mediante un método mixto de elementos finitos para simular la interacción hidráulica río-acuífero. A partir de datos obtenidos en estaciones de monitoreo continuo y utilizando el método numérico propuesto se estimó el valor de difusividad que minimiza el error entre los datos observados y la señal simulada. Luego, utilizando un valor de almacenamiento específico se obtuvo un valor de conductividad hidráulica para el acuífero Puelche. Si bien este valor no se ubica dentro del rango determinado por Auge mediante ensayos de bombeo, la descripción de los datos observados mediante el modelo propuesto es muy satisfactoria. Como trabajo a futuro se propone aumentar la complejidad del modelo incorporando efectos que hasta hoy no han sido tenidos en cuenta, así como también explorar el efecto de las heterogeneidades de las propiedades hidráulicas. Además se propone ampliar el presente análisis utilizando datos provenientes de distintas estaciones de monitoreo continuo.

REFERENCIAS

Auge M.P., 2001. Hidrogeología de La Plata - Argentina. *Revista Latinoamericana de Hidrogeología*. **1**: 27-40

Bear J., 1988. *Dynamics of fluids in porous media*. Dover, New York, 1st edition.

Cuello J.E., 2014. Simulación numérica de fluctuaciones de altura piezométrica inducidas por marea en acuíferos costeros heterogéneos. *Actas del II Congreso Internacional de Hidrología de Llanuras.*

Ferris J.G., 1951. Cyclic fluctuations of water level as a basis for determining aquifer transmissivity. *Int. Assoc. Sci. Hydrol. Pub.*, **33**, 148-155.

Guarracino L., 2001. *Modelado numérico del flujo de agua subterráneas y transporte de solutos en medios porosos heterogéneos*. Tesis Doctoral, Universidad Nacional de La Plata.

Guarracino L., Monachesi L.B., Cuello J.E., Carrera J., Rodríguez L., Vives L. y Martínez S., 2014. Estimación de parámetros hidráulicos por el método de marea inducida en la cuenca Matanza Riachuelo.

Actas del II Congreso Internacional de Hidrología de Llanuras.

Jacob C.E., 1950. *Flow of groundwater*. Rouse H (ed) Engineering hydraulics. Wiley, New York.

Jha M.K., Kamii Y. and Chikamori K., 2003. On the estimation of phreatic aquifer parameters by the tidal response technique. *Water Resources Managment,* **17**, 69-88.

Este trabajo participa en el "Concurso Jóvenes Investigadores".

METANALISIS: IMPACTO SOBRE EL APARATO RESPIRATORIO DE TRABAJADORES EXPUESTOS A CONTAMINACION URBANA

De Sio S [a], Schifano MP[a], Balladore F[b], Nieto A.H.[b]

[a]Departamento SAIMLAL, Unidad de Medicina del Trabajo, Sapienza Universidad de Roma, ITALIA

[b]Facultad de Medicina, Cátedra Libre de Salud y Seguridad en el Trabajo, Universidad Nacional de Buenos Aires, ARGENTINA

e-mail: simone.desio@uniroma1.it

RESUMEN

La contaminación atmosférica puede definirse como cualquier cambio en el aire de la atmósfera, debido a la introducción de una o más sustancias en cantidades y con tales características como para dañar o constituir un peligro para la salud humana o la calidad del medio ambiente o pueda perjudicar la propiedad o poner en peligro los usos legítimos del medio ambiente. En los países industrializados, las principales fuentes antropogénicas de los contaminantes del aire son: El tráfico de vehículos , Sistemas de calefacción domésticos, Las actividades industriales. La incineración y combustión de residuos, Centrales termoeléctricas de carbon y Actividades Nucleares . Todas ellas tienen impacto sobre la salud humana

El presente trabajo se propone realizar una revisión sistemática de la literatura científica sobre los efectos crónicos en el sistema respiratorio en los trabajadores laboralmente expuestos a la contaminación urbana, con el fin de verificar:la efectividad de las intervenciones preventivas para los grupos de trabajadores que ya están sujetos a la vigilancia de la salud y la necesidad de extender estos programas para proteger la salud también a otras categorías.

Para ello se efectuó una revisión sistemática conforme el modelo de metanalisis de todos los artículos publicados desde enero 1988 hasta dicembre 2013 recogidos con los siguientes motores de búsqueda en línea: PubMed, Biblioteca Nacional de Medicina (NLM),MedlinePlus, NIOSHTIC-2,TOXLINE. BioMedCentral y Scopus.(1073 articulos).

Se encontraron correlaciones significativas respecto de: prevalencia de síntomas respiratorios, disminución de la funcionalidad respiratoria, inflamación de la vía aérea y prevalencia de enfermedades respiratorias en trabajadores expuestos laboralmente.

Los resultados muestran, la necesidad de proteger a todos los trabajadores expuestos con programas específicos de prevención y la necesidad de mejorar los programas para proteger la salud de los trabajadores a través de una cuidadosa evaluación del riesgo, la utilización de equipos de protección personal (en caso necesario) y la implementación de programas de vigilancia de la salud.

Palabras Clave: Aparato Respiratorio, Contaminación Urbana, Metanalisis.

INTRODUCION

De acuerdo con las estimaciones de impacto producidas por la OMS, la contaminación ambiental constituye un problema de salud publica muy relevante. Estudios de evaluación del impacto sanitario han indicado invariablemente que los efectos sanitarios adversos de la contaminación atmosférica son de una entidad considerable.

Si bien las medidas para poner freno a las emisiones se han traducido en una disminución de los niveles de contaminación en muchas ciudades, los resultados de estudios recientes siguen mostrando los efectos agudos y crónicos en la salud, incluso en niveles de contaminación por debajo de los estándares de calidad para aire.

Además, los niveles elevados de contaminación atmosférica aparecen correlacionados con la presencia de síntomas y enfermedades respiratorias en varios países europeos y extra europeos: En los Estados Unidos, la presencia de bronquitis crónica a sido significativamente asociada a la contaminación por partículas pequeñas (Abbey et al,1995). En Italia se ha demostrado que sujetos residentes en un área rural presentan tasas de prevalencia de síntomas respiratorias menores respecto de aquellos que viven en el ambiente urbano (Viegi et al,1999). Otro importante estudio europeo ha evidenciado en adultos, un aumento del riesgo de desarrollar un cuadro de bronquitis crónica como consecuencia de la exposición a la contaminación del tránsito vehicular (Kunzli et al, 2000). La sintomatología de mujeres de 40 – 59 años que pasaban gran parte de su tiempo en el hogar, resulto correlacionable con la cercanía de su residencia a autopistas de gran caudal vehicular. Otro estudio que puede citarse en este contexto es aquel efectuado sobre una población residente al menos 10 años en áreas metropolitanas o rurales en el que se evidencia una asociación significativa entre síntomas crónicos de enfermedad respiratoria obstructiva y elevados niveles de partículas áreas (Abbey et al 1993).

MATERIAL Y METODO

El estudio fue realizado mediante la revisión sistemática de todos los artículos inherentes a la valoración de los efectos sobre el aparato respiratorio en la población general expuesta a contaminación urbana, con exclusión de todos aquellos estudios efectuados sobre niños y adolescentes.

La búsqueda incluyo artículos publicados entre Enero de 1998 (año de publicación del DPR 203/88 " Aplicación de las directivas CEE números 80/779, 82/884, 84/360 e 85/203 norma concerniente en materia de calidad del aire, relativa específicamente a los agentes contaminantes, y de la contaminación producto de la instalación de industrias, de conformidad con el articulo 15 de la ley Italiana del 16 de Abril de 1987, numero 183) hasta 2013.

Han sido utilizados los siguientes motores de búsqueda electrónica, disponibles on line:

- Biomedcentral
- MEDLINE/ PubMed
- MEDLINE/ National Library of Medicine (NLM)
- MEDLINE Plus
- Nioshtic-2
- Scopus
- TOXNET/Toxline

Ademas, han sido consultadas las actas del convenio nacional organizativo de la S.I.M.L.I.I (Società Italiana di Medicina del Lavoro ed Igiene Industriale) y de la A.I.D.I.I. (Associazione Italiana degli Igienisti Industriali) y el manual de medicina del trabajo e higiene industrial. Ha sido además examinada la bibliografía reportada en los artículos referidos para encontrar ulteriores publicaciones utiles al objetivo de nuestro trabajo.

Para cada motor de búsqueda han sido utilizadas las siguientes palabras clave:

- Air pollution (or pollutant) and urban (or rural or general) population
- Urban pollution (or pollutants) and urban (or rural or general) population
- Urban air pollution and urban (or rural or general) population
- Urban atmospheric pollution (or pollutant) and urban (or rural or general) population
- Ambient air (pollution) and urban (or rural or general) population
- Ambient exposure and urban (or rural or general) population
- Environmental exposure and urban (or rural or general) population
- Particulate matter (PM) and urban (or rural or general) population
- Urban particulate matter (UPM) and urban (or rural or general) population
- Ultrafine particulate matter and urban (or rural or general) population
- Ultrafine particles (fine particles) and urban (or rural or general) population
- Concentrated ambient fine particles (CAP) and urban (or rural or general) population

- Volatile organic compounds (VOCs) and urban (or rural or general) population
- Suspended particulate matter (SPM) and urban (or rural or general) population
- Total suspended particulate matter (TSPM) and urban (or rural or general) population
- Traffic emissions (air pollution) and urban (or rural or general) population
- Urban traffic and urban (or rural or general)population
- Road traffic (pollution) and urban (or rural or general) population
- High (or heavy) traffic density and urban (or rural or general) population

Esta búsqueda sistemática ha dado como resultado 1073 publicaciones, de las cuales solamente 85 son coherentes con el objetivo de nuestro estudio y solamente 22 responden a los siguientes criterios de inclusión:

1) Estudios controlados, o estudios en los cuales el grupo experimental fuese constituido por sujetos mayormente expuestos a contaminantes urbanos y el grupo control por sujetos expuestos en menor grado a contaminación urbana.
2) Estudios que reportaran los resultados en términos numéricos de media, desvio estándar (para las variables continuas) o de frecuencia (para las variables discontinuas) cuyas características principales se muestran en las tablas 1, 2 y 3.

Los autores de las publicaciones cuyos resultados fueron expresados de manera numérica no utilizable, fueron contactados con el objetivo de solicitar y obtener los datos necesarios sin que a la fecha se recibiera respuesta alguna.

DESCRIPCIÓN DE LOS PARTICIPANTES

En los artículos incluidos en nuestro metanalisis, el grupo de los expuestos está representado por la población general con edad comprendida entre los 15 y los 75 años, de ambos sexos, residente en áreas urbanas, mayormente contaminadas, mientras que el grupo de los controles está representado por la población general adulta residente nea reas rurales y suburbanas, donde se registra un nivel más bajo de contaminación.
El número de participantes incluidos en este metanalisis alcanza a 48848, el número de casos alcanza los 22414 mientras que el número de controles es de 26434.
En los estudios donde ha sido especificado, el número totales de sujetos de sexo masculino del grupo control de casos fue de 10357 mientras que el número total de mujeres fue de 10965. EN los estudios donde ha sido especificado, el número total de sujetos de sexo masculino del grupo control fue de 13457 mientras que el número total de mujeres fue de 12136.

ORGANIZACIÓN DE LOS DATOS

Luego de un atento análisis de los estudios seleccionados han sido identificadas las variables mas frecuentemente estudiadas en la evaluación de los efectos sobre el aparato respiratorio y de los factores correlacionados a la aparición de enfermedades pulmonares.

Las siguientes variables reportaban datos expresados en media y desvío estándar:

- FEV1
- FVC
- PEFR
- FEV1/FVC (indice de Tiffeneau)
- FEF 25-75
- FEF 75-85

Las siguientes variables reportaban datos expresados en frecuencia:

- Tos
- Expectoración
- sibilancias
- disnea
- respiración corta / falta de respiración
- Bronquitis crónica
- asma
- enfisema
- utilización de fármacos para el asma

ANALISIS ESTADISTICO

El efecto del tamaño (Effect Size ES), valor que expresa la magnitud de la fuerza de asociación entre dos variables ha sido utilizado para expresar el resultado de nuestro metanalisis.

Junto al efecto del tamaño (ES) también se calculó su intervalo de confianza que expresa la precisión con la que el tamaño del efecto se estimó en nuestro estudio.

A partir del momento que en nuestro estudio el intervalo de confianza corresponde al 95% de las observaciones, el valor de *P* ha sido fijado en $P<0.05$. El valor de *P*, que es necesariamente relacionado con el intervalo de confianza permite expresar la significatividad del ES.

Cuando los estudios reportaron datos expresados en media y desvio estándar, el ES ha sido expresado en Standardized Mean Difference o in Weighted Mean Difference dependiendo del valor del Indice de Inconsistencia (I^2)

El Indice de Inconsistencia (I^2) ha sido utilizado como medida de heterogeneidad. En las revisiones sistematicas la heterogeneidad se refiere a la variabilidad o diferencia entre los estudios en la estimación del efecto.

Por medio del I^2 hemos calculado el porcentaje de varianza debida a la real heterogeneidad en lugar de con el caso. Si el valor de I^2 es próximo a cero entonces la varianza observada es debida al caso, si en cambio el valor de I^2 es elevado la varianza es atribuible a diversos factores que necesitan ser investigados.

El calculo de heterogeniedad ha sido utilizado para la selección del modelo estadístico con el que calcular ES. En presencia de un elevado índice de inconsistencia ($I^2>50\%$), el ES ha sido evaluado con el Random Effects Model (REM) que es un modelo estadístico en el cual el intervalo de confianza es influenciado tanto por el error muestral interno en

el estudio como por la variabilidad entre los estudios incluidos en el metanalisis. En este caso, el REM resulta mas robusto porque provee intervalos de confianza mas amplios respecto de los provistos por otros modelos como el Fixed Effects Model (FEM)
La cuantificación del ES ha sido calculada mediante Standardized Mean Difference (SMD) que expresa la relación entre la diferencia de dos medias y un estimador de la desviación estándar al interior del grupo bajo estudio.
En ausencia de una elevada inconsistencia entre los estudios (I^2 <50%), el calculo del ES fue efectuado con el FEM. Con este modelo sólo se estima la variación en el estudio para influir en el intervalo de confianza. En este caso la cuantificación del ES ha sido operacionalizada con la Weighted Mean Difference (WMD), que permite combinar las medidas que forman parte de una escala continua cuando media, desvio estándar y tamaño de la muestra son parámetros conocidos.
El peso otorgado a cada estudio es determinado por la prescion del estimador de efecto asumiendo que todos los estudios midieron la variable con la misma escala de valoración.
Para la medida de ES basada en la diferencia (por ejemplo SMD y WMD), una diferencia igual a 0.0 indica la ausencia de diferencias entre los grupos estudiados.
Cuando los estudios reportan datos expresados en frecuencia, el ES ha sido expresado en términos de Odds Ratio (OR).
De manera análoga a lo precedentemente descrito, en presencia de un elevado índice de heterogeneidad (I^2>50%), el ES ha sido evaluado con el Random Effects Model (REM), mientras que en ausencia de una elevada heterogeneidad entre los estudios (I^2 <50%), el cálculo del ES ha sido efectuado con el Fixed Effects Model (FEM).
Para las medidas de ES basados en relaciones (por ejemplo, OR), una relación de 1,0 indica la ausencia de diferencias entre los grupos estudiados (Borenstein et al, 2009).

RESULTADOS

El procesamiento de los datos relativos a cada clase mostro los siguientes resultados (ver tabla 3):

- La prevalencia de síntomas respiratorios evaluada en 15 estudios, sobre una muestra total de 16509 casos y 21319 controles resulta significativamente aumentada en el grupo de sujetos expuestos a contaminación urbana respecto del grupo de sujetos menos expuestos (OR 1,30 [1,18; 1,43]) con un valor de heterogeneidad entre los estudios igual a I^2 85,23.
- La funcionalidad respiratoria evaluada en 8 estudios, sobre una muestra total de 2282 casos y 1810 controles, resultó significativamente reducida en el grupo de los expuestos a contaminación urbana respecto del grupo de los sujetos menos expuestos (SMD -0,21 [-0,31; -0,11]) con un valor de heterogeneidad entre los estudios igual a I^2 85,58.
- La prevalencia de patología respiratoria, evaluada en 13 estudios, sobre una muestra total de 1009 casos y 24419 controles, resulta significativamente aumentada en el grupo de sujetos expuestos a contaminación urbana respecto

de los sujetos menos expuestos (OR 1,66 [1,35; 2,04]) con un valor de hetrogeneidad entre los estudios igual a a I^2 92,16.

- La elaboración estadística de los datos expresados en media y desvío estándar arrojo los resultados expuestos en la tabla 2.
- La FVC media, evaluada por siete estudios, sobre una muestra total de 2191 casos y 1712 controles, resulta significativamente reducida en el grupo de expuestos a contaminación urbana respecto del grupo de sujetos menos expuestos (WMD -0,139 [-0,206;-0,072]) con un valor de heterogeneidad entre los estudios igual a I^2 21,996 (p=0,000).
- El **FEV_1** medio, evaluado en ocho estudios, sobre una muestra total de 2282 casos y 1810 controles, resulta significativamente reducido en el grupo de sujetos expuestos a contaminación urbana respecto del grupo de sujetos menos expuestos (SMD -0,282 [-0,472;-0,092]) con un valor de heterogenidad entre los estudios igual a I^2 79,272 (p=0,004).
- El **PEFR** medio, evaluado en cuatro estudios, sobre una muestra total de 336 casos y 736 controles, resulta significativamente reducido en el grupo de los expuestos a contaminación urbana respecto del grupo de sujetos menos expuestos (SMD -0,320 [-0,452;-0,189]); los estudios incluidos resultan homogéneos entre si (I^2 0.00 ; p=0,000) .
- Para todos los otros parámetros evaluados **(FE_{V1}/FVC, FE_{F25-75}, FE_{F75-85})** no han emergido diferencias estadísticamente significativas de la comparación de valores encontrados en los grupos de expuestos respecto de los valores de los sujetos menos expuestos.

La elaboración estadística de los datos expresados en frecuencias arrojo los siguientes resultados (ver tabla 2):

- Prevalencia de síntomas respiratorios: tos (OR 1,277 [1,116- 1,461]; I^2 72,890; p 0,000), catarro (OR 1,239 [1,007-1,524]; I^2 66,369; p 0,042), sibilancias (OR 1,402 [1,216-1,617]; I^2 82,950; p 0,000), respiración corta/falta de respiración (OR 2,058 [1,200-3,528]; I^2 78,948; p 0,009), resultan significativamente aumentadas en el grupo de sujetos expuestos a contaminación urbana respecto del grupo de sujetos menos expuestos
- Prevalencia de Patología Respiratoria: bronquitis crónica (OR 2,256 [1,536-3,313]; I^2 52,391; p 0,000), asma bronquial (OR 1,573 [1,250-1,980]; I^2 77,540; p 0,000), rinitis (OR 2,824 [1,083-7,361]; I^2 97,217; p 0,034) y enfisema (OR 2,976 [1,954-4,541]; I^2 78,247; p 0,000) resultan significativamente aumentadas en el grupo de los sujetos expuestos a contaminación urbana respecto del grupo de sujetos menos expuestos.

Para los otros parámetros evaluados no emergen diferencias estadísticamente significativas de la comparación de las frecuencias encontradas en el grupo de los expuestos respecto de las frecuencias de los sujetos menos expuestos.

DISCUSION

Los resultados de nuestro metanalisis permiten confirmar la evidencia de los efectos de la contaminación urbana sobre el aparato respiratorio aunque los mecanismos de acción han sido clarificados solo en parte (Committe of the Environmental and Occupational Health Assembly of the American Thoracic Society 1996).

Los efectos de los contaminantes sobre el aparato respiatorio dependen del tipo de contaminante, de su concentración ambiental, de la duración de la exposición y de la capacidad ventilatoria.

Nuestros resultados, en línea con otros estudios presentes en la literatura científica soportan la hipótesis que la reducción de algunos parámetros de la funcionalidad respiratoria como FVC, FEV_1 y PEFR encontrada en la población general residente en areas urbanas, o en areas con una tasa de contaminación mas elevada, pueden ser atribuibles a la exposición a contaminación urbana y configurar un cuadro de síndrome respiratorio de tipo obstructivo (Ingle et al, 2005; Atimtay et al, 2000; Karita et al, 2001; Wongsurakiat et al, 1999).

En un estudio (Chestnut et al, 1991) efectuado en USA, se observo una asociación significativa entre funcionalidad y niveles de partículas en suspensión en adultos no fumadores (NHANES I). El estudio evidencio que el incremento de la cantidad de partículas se asocia a un descenso de la FVC: tal asociación cesaba por debajo de $60\mu g/m^3$ de partículas. Una reducción de la capacidad respiratoria (FVC e FEV_1) surge también del estudio de Pope III et al, 1993: en especial resulta estadísticamente significativo una disminución igual al 2% del FEV_1 por el aumento de PM_{10} igual a 100 $\mu g/ m^3$ en los sujetos examinados, todos fumadores afectados de una leve o moderada patología respiratoria crónica obstructiva. Otro estudio (Jedrychowski et al, 1989) a mencionar e el efectuado en Cracovia sobre 1414 personas que no cambiaron de residencia en los últimos 8 años: se observo una mas rápida reducción de la funcionalidad respiratoria en los residentes de areas mas contaminadas de SO_2 e PM_{10} respecto de los residentes en otras áreas.

Una asociación entre exposición crónica a varios niveles de contaminación atmosférica y funcionalidad respiratoria ha sido encontrada en una población de no fumadores residentes en dos áreas caracterizadas por la contaminación (Detels et al, 1991). En un estudio realizado en Italia (Lagorio et al, 2003) entre sujetos con EPOC y ASMA, los resultados de los análisis muestran que a un aumento de las concentraciones ambientales de PM_{10} e $PM_{2,5}$ corresponde un empeoramiento de la funcionalidad respiratoria durante las siguientes 24 – 48 hs.

Un estudio realizado en Holanda ha demostrado una correlación inversa entre volumen espiratorio forzado y vecindad con una autopista con un elevado trafico, y también entre FEV_1 y numero de vehículos pesados circulantes por día (van der Lende et al, 1981).

La disponibilidad de estudios controlados en la literatura es bastante pequeña, pero el número de sujetos sobre los que se realizaron estos estudios es bastante alto. Mucho estudios muestran una disparidad entre el numero de sujetos que constituyen el grupo

experimental y la cantidad del grupo control con la consecuente distorsión de los resultados obtenidos.

No obstante la elaboración de los datos disponibles, reagrupados para las 3 clases, ha permitido demostrar un compromiso del aparato respiratorio caracterizada por:

1) Reducción de la funcionalidad respiratoria (I^2 98.23);
2) Aumento de la prevalencia de síntomas (I^2 55.65);
3) aumento de la patología respiratoria (I^2 51.31).

Estos resultados son interpretados en relación con el numero de estudios examinados y al rol de la heterogeneidad existente entre diversos estudios.

Entre la clase de síntomas respiratorios los resultados demuestran que la respiración corta / falta de respiración y las sibilancias aparecen entre los más sensibles. Con un ES de 2.06 y 1.40 respectivamente, el metanalisis indica que entre la población más expuesta, la respiración corta / falta de respiración y las sibilancias han sido encontradas mas frecuentemente respecto del grupo de los menos expuestos.

Los estudios, enfocando la variable respiración corta / falta de respiración y las sibilancias, muestran una baja homogeneidad representada por el alto valor de I_2 (respectivamente 78,95 y 82,95).

Entre la patología respiratoria, las variables con una elevada sensibilidad que pueden ser atribuibles a los efectos de la contaminación encontramos la bronquitis crónica y el enfisema con un ES de 2,25 y 2,97 respectivamente. La heterogeneidad entre los estudios que han investigado la presencia de bronquitis es igual a 53,39 mientras que para la variable enfisema es de 78,24.

Entre los resultados estadísticamente significativos relativos a la funcionalidad respiratoria los parámetros FVC FEV_1 y PEFR son todos reducidos, indicando, como efecto crónico un déficit obstructivo en la población expuesta. El ES del FVC del FEV_1 y del PEFR es respectivamente de -0,14 -0,28 y -0,32 mientras que el valor de I_2 es respectivamente igual a 21,99 79,27 y cero.

El metanalisis ha permitido individualizar las variables que pueden ser utilizadas como indicadores de los efectos de la contaminación sobre el aparato respiratorio. Las variables con baja heterogeneidad y elevada sensibilidad como el PEFR y la bronquitis ser considerados indicadores utiles de exposición a los contaminantes urbanos.

Las variables con elevada sensibilidad y elevada heterogeneidad como el enfisema, la respiración corta / falta de respiración deben ser posteriormente profundizados en estudios futuros a los fines de verificar su utilidad como indicadores de exposición a la contaminación urbana.

A la luz de los resultados obtenidos aparece evidente como el cuidado de la salud de la población expuesta a contaminación urbana debe necesariamente comprender una precisa evaluación del aparato respiratorio a través de investigaciones enfocadas al control de los factores de riesgo y al diagnostico de las condiciones predisponentes a la aparición de enfermedades pulmonares

Los resultados de los estudios sugieren la necesidad de una programación de las intervenciones de prevención que no pueden prescindir de una política integrada de

gestión del ambiente urbano que ponga en el centro de atención la contención y la reducción de las emisiones contaminantes de dos fuentes: El transporte urbano y la producción de energía. Un obvio principio es aquel de una reorganización de las políticas de transporte urbano y de la promoción de una movilidad urbana sostenible mediante la reducción del trafico vehicular privado (desincentivacion del uso de medios privados, desarrollo de los programas bike sharing con un plan que se acompañe de extensiones de la red de ciclovias y de car sharing, promoción del potenciamiento del servicio de transporte publico, refuerzo de la red portante de bus con incorporación de líneas de alta capacidad sobre los ejes principales y racionalización de las secundarias con servicios flexibles donde hoy existen líneas subutilizadas, facilitación de 'la intermodalidad con los sistemas ferroviarios) y una minimización, si no eliminación del nuero de auto vehículos con elevada emisión de partículas (por ejemplo diesel de vieja concepción, in especial grandes automotores y otros).

BIBLIOGRAFIA

Abbey D. E., Ostro B. E., Petersen F. and Burchette R. J., 1995. Chronic Respiratory Symptoms Associated with Estimated Long-Term Ambient Concentrations of Fine Par-ticulates Less Than 2.5 Microns in Aerodynamic Diameter (PM2.5) and Other Air Pollutants, *Journal of Exposure Science and Environmental Epidemiology*, Vol. 5, No. 2, pp. 137-159.

Abbey D. E. *et al*. 1993. Long-Term Ambient Concentrations of Total Suspended Particulates, Ozone, and Sulfur Di-oxide and Respiratory Symptoms in a Nonsmoking Population, *Archives of Environmental Health*, Vol. 48, No. 1, pp. 33-46.

Accordi B. and Palmieri E. L., 1991. L'atmosfera Terrestre e i suoi Fenomeni da Il Globo Terrestre e la Sua Evoluzione. 3rd Edition, Bologna-Zanichelli Edizioni, Modena, pp. 273-307.

Björnsson E., Plaschke P., Norrman E., Janson C., Lundbäck B., Rosenhall A., Lindholm N., Rosenhall L., Berglund E. and Boman G., 1994. Symptoms Related to Asthma and Chronic Bronchitis in Three Areas of Sweden. *European Respiratory Journal*, Vol. 7, No. 12, pp. 2146-2153.

Boezen M., Schouten J., Rijcken B., Vonk J., Gerritsen J., Van Der Zee S., Hoek G., Brunekreef B. and Postma D., 1998. Peak Expiratory Flow Variability, Bronchial Respon- siveness, and Susceptibility to Ambient Air Pollution in Adults. *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine*, Vol. 158, pp. 1848-1854.

Borestein M., Hedges L. V., Higgins J. P. T. and Rothstein H. R., 2009. Introduction to Meta-Analysis, John Wiley and Sons, Ltd. Chichester.

Burr M. L., Karani G., Davies B., Holmes B. A. and Williams K. L., 2004 .Effects on Respiratory Health of a Reduction in Air Pollution from Vehicle Exhaust Emissions. *Occupational and Environmental Medicine*, Vol. 61, No. 3, , pp. 212-218.

Chattopadhyay B. P., Mukherjee A., Mukherjee K. and Roychowdhury A., 2007. Exposure to Vehicular Pollution and Assessment of Respiratory Function in Urban Inhabi-tants. *Lung*, Vol. 185, No. 5, pp. 263-270.

Chestnut L. G., Schwartz J., Savitz D. A., *et al*., 1991. Pulmo-nary Function and Ambient Particulate Matter: Epidemi-ological Evidence from NHANES I," *Archives of Envi-ronmental Health*, Vol. 46, No. 3, , pp. 135-144.

Devereux G., Ayatollahi T., Ward R., Bromly C., Bourke S. J., Stenton S. C. and Hendrick D. J., 1996. Asthma, Air-ways Responsiveness and Air Pollution in Two Contrast-ing Districts of Northern England. *Thorax*, Vol. 51, No. 2, pp. 169-174.

Fereidoun H., Nourddin M. S., Rreza1 N. A., Mohsen A., Ahmad R. and Pouria H., 2007. The Effect of Long-Term Ex-posure to Particulate Pollution on the Lung Function of Teheranian and Zanjanian Students. *Pakistan Journal of Physiology*, Vol. 3, No. 2.

Jedrychowski W. and Krzyzanowski M., 1989. Ventilatory Lung Function and Chronic Chest Symptoms among the Inhabitants of Urban Areas with Various Levels of Acid Aerosols: Prospective Study in Cracow. *Environmental Health Perspectives*, Vol. 79, pp. 101-107.

Kumar K., Prasad C. E., Balakrishna N., Visweswara Rao K. and Reddy P. U. M., 2000. Respiratory Symptoms and Spirometric Observations in Relation to Atmospheric Pollutants in a Sample of Urban Population. *Asia-Pacific Journal of Public Health*, Vol. 12, No. 2, 2000, p. 58.

Künzli N., Kaiser R., Medina S., Studnicka M., Chanel O., Filliger P., Herry M., Horak Jr. F., Puybonnieux- Texier V., Quenel P., Schneider J., Seethaler R., Vergnaud J. C. and Sommer H. 2000. Publichealth Impact of Outdoor and Traffic-Related Air Pollution: A European Assessment, *Lancet*, Vol. 356, No. 9232, pp. 795-801.

Sekine K., Shima M., Nitta Y. and Adachi M., 2004. Long Term Effects of Exposure to Automobile Exhaust on the Pulmonary Function of Female Adults in Tokyo, Japan. *Occupational and Environmental Medicine*, Vol. 61, No. 4.

Sichletidis L., Tsiotsios I., Gavriilidis A., Chloros D., Kottakis I., Daskalopoulou E. and Konstantinidis T., 2005. Prevalence of Chronic Obstructive Pulmonary Disease and Rhinitis in Northern Greece. *Respiration*, Vol. 72, No. 3, pp. 270-277.

Sunyer J., Jarvis D., Gotschi T., Garcia-Esteban R., Jacquemin B., Aguilera I., Ackerman U., de Marco R., Forsberg B., Gislason T., Heinrich J., Norba¨ck D., Villani S.and Ku¨nzli N., 2006. Chronic Bronchitis and Urban Air Pollution in an international Study. *Occupational and Environmental Medicine*, Vol. 63, No. 12.

Van der Lende R., Kok T., Peset R., Quanjer H., Schouten J. P. and Orie G. M., 1981. Long-Term Exposure to Air Pollution and Decline in VC and FEV1: Recent Results from a Longitudinal Epidemiologic Study in the Nether- lands. *Chest*, Vol. 80, No. S1, pp. 23-26.

VanderJagt D. J., McClung K. D., Kassam H. A., Harkins M. S. and Glew R. H, 2004. Pulmonary Function of Herdsmen. *Journal of the National Medical Association*, Vol. 96, No. 4, pp. 550-555.

Van der Zee S. C., Hoek G., Boezen M. H., Schouten J. P., van Wijnen J. H. and Brunekreef B., 2000. Acute Effects of Air Pollution on Respiratory Health of 50±70 Yr Old Adults," Eur Respir J, Vol. 15, No. 4.

Viegi G., Mattelli G., Anginom A., Scognamiglio A., Baldacci S., Soriano J. B. and Carrozzi L., 2004. The Proportional Venn Diagram of Obstructive Lung Disease in the Italian General Population. *Chest*, Vol. 126, No. 4, pp. 1093-1101.

Viegi G., Paoletti P., Carrozzi L., Vellutini M., Diviggiano E., Di Pede C., Pistelli G., Giutini G. and Lebowitzt M. D., 1991. Prevalence Rates of Respiratory Symptoms in Italian General Population Samples Exposed to Different Levels of Air Pollution. *Environmental Health Perspec-tives*, Vol. 94, pp. 95-99.

Viegi G., Pedreschi M., Baldacci S., Chiaffi L., Pistelli F., Modena P., Vellutini M., Di Pede F.and Carrozzi L., 1999. Prevalence Rates of Respiratory Symptoms and Diseases in General Population Samples of North and Central Italy. *The International Journal of Tuberculosis and Lung Disease*, Vol. 3, No. 11, pp. 1034-1042.

Walraven G. E. L., Nyan O. A., Van Der sande M. A. B., Banya W. A. S., Ceesay S. M., Milligan P. J. M. and Mcadam K. P. W. J., 2001. Asthma, Smoking and Chronic Cough in Rural and Urban Adult Communities in the Gambia," *Clinical and Experimental Allergy*, Vol. 31, No. 11.

Wieringa M. H., Weyler J. J., Van Bastelaer F. J., Nelen V. J., Van Sprundel M. P. and Vermeire P. A., 1997. Higher Asthma Occurrence in an Urban Than a Suburban Area: Role of House Dust Mite Skin Allergy. *European Res-piratory Journal*, Vol. 10, No. 7.

Wieringa M. H., Weyler J. J., Nelen V. J, Van Hoof K. J, Van Bastelaer F. J., Van Spnindel M. P. and Ver-meire P. A., 1998. Prevalence of Respiratory Symptoms: Marked Differences within a Small Geographical Area. *International Journal of Epidemiology*, Vol. 27, No. 4.

TABLAS

Tabla 1: Distribución de los estudios incluidos por variable

Clase	Variable	Autores	Tot
Prevalencia de sintomas respiratorios	Tos	Van der Zee et al 2000; Bjornsson et al 1994; Viegi et al 1991; Viegi et al 1999; Viegi et al 2004; Sunyer et al 2006; Devereux et al 1996; Walraven et al 2001; Kumar et al. 2000; Sekine et al 2004; Jedrychowski et al 1989.	11
	Catarro	Van der Zee et al 2000; Viegi et al 1991; Viegi et al 1999; Viegi et al 2004; Sunyer et al 2006; Kumar et al. 2000; Sekine et al 2004; Jedrychowski et al 1989.	8
	Disnea	Viegi et al 1991; Viegi et al 1999; Viegi et al 2004; Jedrychowski et al 1989.	4
	Respiración corta/falta de aire	Devereux et al 1996; Wieringa et al 1997 ;Sekine et al 2004;	3
	Sibilancias	Van der Zee et al 2000; Bjornsson et al 1994; Viegi et al 1991; Viegi et al 1999; Devereux et al 1996; Wieringa et al 1997; Wieringa et al. 1998; Wieringa et al. 2001; Walraven et al. 2001; Burr et al 2004 ; Sekine et al 2004; Jedrychowski et al 1989.	12
Funcionalidad respiratoria	Fev_1	Boezen et al. 1998; Kumar et al. 2000; Chattopadhyay et al 2007; Sichletidis et al 2005; Vanderjagt et al. 2004; Lubinski et al. 2005; Sekine et al 2004; Heydarpour et al 2007;	8
	Fvc	Kumar et al. 2000; Chattopadhyay et al 2007; Sichletidis et al 2005; Vanderjagt et al. 2004; Lubinski et al. 2005; Sekine et al 2004; Heydarpour et al 2007;	7
	Fev_1/Fvc	Chattopadhyay et al 2007; Sichletidis et al 2005; Vanderjagt et al. 2004; Lubinski et al. 2005;; Heydarpour et al 2007;	5
	PEFR	Kumar et al. 2000; Chattopadhyay et al 2007; Vanderjagt et al. 2004; Lubinski et al. 2005;	4
	Fef_{25-75}	Chattopadhyay et al 2007; Sichletidis et al 2005; Vanderjagt et al. 2004;; Heydarpour et al 2007;	4
	Fef_{75-85}	Chattopadhyay et al 2007	1
Prevalencia de patología respiratoria	Bronquitis crónica	Viegi et al 1991; Viegi et al 1999; Viegi et al 2004; Kumar et al. 2000.	4
	Asma	Van der Zee et al 2000; Bjornsson et al 1994; Viegi et al 1991; Viegi et al 1999; Viegi et al 2004 ; Wieringa et al 1997; Wieringa et al. 1998; Wieringa et al. 2001; Walraven et al. 2001; Burr et al 2004 ; Sekine et al 2004	11

	Rinitis	Sichletidis et al 2005; Viegi et al 1991; Burr et al 2004 ; Kumar et al. 2000 ;	4
	Enfisema	Viegi et al 1991; Viegi et al 1999; Viegi et al 2004; Wieringa et al. 2001	4
	Uso de farmacos por asma	Van der Zee et al 2000; Devereux et al 1996; Wieringa et al. 1998; Wieringa et al. 2001 ; Burr et al 2004	5

Tabla 2: Análisis estadístico por variable

Clase	**Variable**	**Muestra**	**Resultado**	**Indices del metanalisis**		
				P	**I^2 %**	**ES**
Prevalencia de síntomas respiratorios	Tos	GE: 11389	Aumentado en expuestos	Z= 3,556	72,890	OR 1,277
	Catarro	GE: 4971	Aumentado en expuestos	Z= 2,030	66,369	OR 1,239
	Disnea	GE: 3499	NS	Z= -0,144	99,985	OR 0,948
	Respiración corta/falta de aire	GE: 2834	Aumentado en expuestos	Z=2,623	78,948	OR 2,058
	Sibilancias	GE: 16322	Aumentado en expuestos	Z= 4,657	82,950	OR 1,402
Funcionalidad respiratoria	FEV_1	ge: 2282	Reducida en expuestos	Z= -2,904	79,272	SMD -0,282
	FVC	ge: 2191	Reducida en expuestos	Z= -4,062	21,996	WMD -0,139
	FEV_1/FVC	ge: 2033	n.s.	Z= -1,512	87,879	SMD -0,230
	PEFR	ge: 336 gc: 736	Reducida en expuestos	Z= -4,779 P= 0,000	0,000	SMD -0,320 [-0,452; -0,189]
	Fef_{25-75}	ge: 1883 gc: 1207	n.s	Z= -1,644 P= 0,100	26,788	WMD -0,064 [-0,139; 0,012]
	Fef_{75-85}	ge: 94 gc: 289	n.s	Z= -1,673 P= 0,094	46,843	WMD -0,199 -0,433; 0,034]
Prevalencia de patología	Bronquitis cronica	GE: 4252	Aumentado en expuestos	Z= 4,147	52,391	OR 2,256

respiratoria	Asma bronquial	GE: 15643	Aumentado en expuestos	Z= 3,864	77,540	OR 1,573
	Rinitis	GE: 2862	Aumentado en expuestos	Z= 2,123	97,217	OR 2,824
	Enfisema	GE: 5639	Aumentado en expuestos	Z= 5,057	78,247	OR 2,976
	Uso de farmacos por asma	GE: 6307 GC: 6903	NS	Z= 1,474 P= 0,140	60,016	OR 1,201 [0,941; 1,533]

GE: grupo expuesto; GC: grupo control; NS: No Significativo; P: Probabilida; I2: Indice di inconsistencia; ES: Effect Size;

SMD: Standardized Mean Difference; WMD: Weighted Mean Difference; OR: Odds Ratio

Tabla 3: Análisis estadístico por clase

Clase	**Muestra**	**Resultado**	**Indices del metanalisis**		
			P	**I^2 %**	**ES**
Prevalencia de síntomas respiratorios	GE: 16509 GC:21319	Aumentado en expuestos	Z= 5,26 P= 0,00	85,23	OR 1,30 [1,17; 1,43]
Funcionalidad respiratoria	GE: 2282 GC: 1810	Reducida en expuestos	Z= -4,08 P= 0,00	85,58	SMD -0,21 [-0,31; -0,11]
Prevalencia de patología respiratoria	GE: 20009 GC: 24419	Aumentado en expuestos	Z= 4,89 P= 0,00	92,16	OR 1,66 [1,35; 2,04]

GE: grupo expuesto; GC: grupo control

P: Probabilida; I2: Indice de inconsistencia; ES: Effect Size

SMD: Standardized Mean Difference; OR: Odds Ratio

AGRESIVIDAD DE LAS PRECIPITACIONES EN EL SUDOESTE DE LA PROVINCIA DE BUENOS AIRES

María Isabel Delgado

Becaria Postdoctoral CONICET
Curso de Manejo de Cuencas Hidrográficas, FCAyF-UNLP

isabeldelgado@agro.unlp.edu.ar

RESUMEN

Las modificaciones en las variables climatológicas de una determinada región, pueden ocasionar a su vez alteraciones en su comportamiento hidrológico, consecuentemente con un incremento en la erosión y degradación del suelo. El objetivo de este trabajo fue analizar la agresividad o potencial erosivo de las precipitaciones en la región serrana del Sudoeste de la Provincia de Buenos Aires. La metodología se basó en el cálculo de tres índices climáticos: el índice de Fournier (IF), el índice de Fournier modificado (IMF) y el índice de concentración de las precipitaciones (ICP). Se partió del análisis regional de las 3 estaciones de mayor período continuo de registro (Tornquist, Coronel Suárez y Coronel Pringles) y a través del análisis estadístico de la media móvil decádica se dividió el estudio en dos períodos de tiempo: previo y posterior a 1970. El primer período se caracterizó como un período más seco (media anual de 738 mm) y el segundo como un período húmedo (media anual de 855 mm), además, se evidenció una modificación en el régimen intraanual de las precipitaciones. Los índices para el período previo a 1970 correspondieron a un IF de 12,95, IFM de 69,85 y un ICP de 13,23. Para el período posterior a 1970 los valores medios se incrementaron, obteniéndose un IF de 13,84 y un IFM de 77,48, mientras que el valor de ICP decreció a 13,02. Se evidenció un cambio en el comportamiento de las precipitaciones entre ambos períodos, habiéndose incrementado la agresividad de las mismas en la actualidad. Frente a los resultados obtenidos, se plantea la aplicación de programas integrados de manejo y conservación de suelos, a escala de cuenca hidrográfica, con el fin de revertir el potencial aumento de la pérdida de suelo y la consecuente merma de la producción agrícola-ganadera en esta región.

Palabras clave: erosión-agresividad climática-sudoeste bonaerense

INTRODUCCIÓN

El Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC, 2007), manifiesta que la temperatura se ha incrementado en todo el mundo, pero principalmente en las altas latitudes del Hemisferio Norte; a lo largo del siglo XX el nivel del mar se ha incrementado en 17 cm. Las principales modificaciones en cuanto a las precipitaciones a nivel global evidencian un incremento para América del Norte y América del Sur, norte de Europa y Norte y centro de Asia, con una tendencia decreciente para la zona mediterránea, Sur de África y ciertas regiones del Sur de Asia. En 2014, el IPCC caracteriza al cambio climático como un desafío político, ya que abarca un gran número de acciones complejas por parte de diversos actores, quienes a su vez poseen valores,

metas y objetivos particulares. Plantea que la mitigación y adaptación de los efectos del cambio climático involucra diferentes niveles políticos y de tomadores de decisión, los cuales interactúan de forma compleja y muchas veces impredecible.

El cambio en los usos y ocupación del suelo en la llanura pampeana ha determinado un aumento incremental de la erosión en la región debido al avance de la agricultura en detrimento de las áreas dedicadas tradicionalmente a la ganadería, especialmente con pastizales naturales (Paruelo et al., 2006). El deterioro de la calidad del suelo debido a su sobreutilización ha provocado un avance de la erosión hídrica (Castiglioni et al., 2006). Para el análisis de este tipo de erosión se torna fundamental conocer, entre otros factores, el potencial erosivo de las precipitaciones. Wischmeier y Smith (1960) propusieron un índice de erosividad de la lluvia para ser utilizado por la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (USLE), conocido como factor R. Este índice se deduce a partir del producto de la energía cinética liberada por la lluvia (E) y la máxima intensidad de precipitación durante un intervalo de 30 minutos (I30) de la tormenta. Por necesitar de series largas de datos pluviográficos, generalmente no disponibles en nuestro país, su cálculo suele presentar inconvenientes. Por esta razón, diversos autores han tratado de relacionar el factor R con parámetros más fáciles de obtener y calcular. Entre estos índices se encuentra el formulado por Fournier (1960), denominado índice de agresividad climática o Índice de Fournier, que muestra una alta correlación con la cantidad de sedimentos arrastrados por la escorrentía. (Besteiro y Delgado, 2011). Se utilizan además el índice de Fournier modificado (IFM) (Arnoldus, 1978) y el índice de concentración de las precipitaciones propuesto por Oliver (1980) (ICP).

Las Sierras Australes de Buenos Aires constituyen uno de los dos grandes sistemas de sierras que emergen de la llanura bonaerense. Forman un conjunto de cadenas montañosas, de relieve pronunciado, con una orientación noroeste a sudeste, presentando un ancho máximo de 60 kilómetros y una longitud de 180 kilómetros. En este conjunto se distinguen dos regiones morfoestructurales distintas: una occidental, integrada por las Sierras de Puán, Pigüe, Curamalal, Bravard y de la Ventana, y otra oriental, formada por las Sierras de Las Tunas y Pillahuinco (Harrington, 1972). En estas cadenas se encuentran las mayores elevaciones de la provincia de Buenos Aires, con valores superiores a los 1000 msnm.

El objetivo de este trabajo fue analizar la evolución temporal de la agresividad o potencial erosivo de las precipitaciones en la región serrana del Sudoeste de la Provincia de Buenos Aires.

METODOS

Area de Estudio

El Sistema Serrano de Ventania se ubica en el Sudoeste la provincia de Buenos Aires (ver Fig. 1). Kristensen y Frangi (1995), en su estudio sobre los climas locales y la biodiversidad en los pastizales serranos australes, mencionan que en el análisis de los principales componentes de datos climáticos tomados en sitios representativos de distintas comunidades permitió destacar que la altitud presentó la mayor importancia en la explicación de las diferencias climáticas; mientras que la exposición y la pendiente el segundo lugar. Encontraron diferencias estacionales en las relaciones de semejanza

climática entre sitios. Según cita Lizzi (2004), el principal factor modelador de la estructura de la vegetación a escala regional es el clima. A escala de paisaje otros factores modelan la estructura de la vegetación: la topografía, tipos de suelos y condiciones micro-climáticas, la profundidad de napas de agua y su movimiento dentro del perfil, las características de los disturbios a los que está sujeto un sistema y la interacción entre ellos. Los disturbios pueden generar cambios irreversibles en la estructura de la vegetación, dependiendo de la fragilidad y resiliencia del sistema.

Los centros urbanos más destacados dentro de esta región son Tornquist (cabecera de Partido), Saldungaray y Sierra de la Ventana. Según el INDEC (Censo Nacional de Población, Hogares y Viviendas, 2001), el Partido de Tornquist tiene un total de 11.624 habitantes. Los accesos al área son la Ruta Nacional N° 33 que une la ciudad de Pigüe con Bahía Blanca, y las rutas provinciales 76 y 72. La principal actividad económica es la agropecuaria, predominando además los cultivos de trigo y girasol, y cebada, maíz, avena y sorgo en menor proporción. La cría de ganado bovino se centra en las razas Aberdeen Angus, Hereford y Shorthorn. También se crían ovinos y porcinos, y se realizan explotaciones avícolas y apícolas..

Además, en los últimos años se ha observado un gran crecimiento en el desarrollo del turismo, trayendo aparejado la construcción de numerosos complejos de cabañas y constituyendo una demanda adicional sobre los recursos naturales del ecosistema. A su vez, también se ha incrementado la población estable en la región (Delgado, 2012).

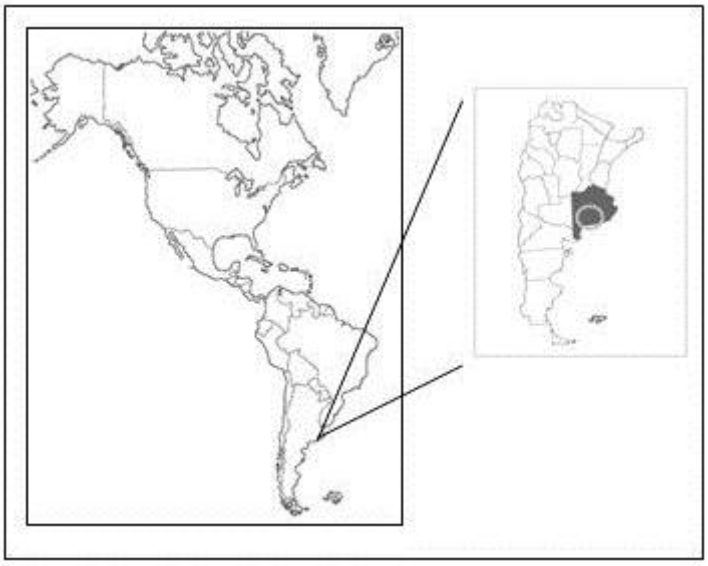


Figura 1. Ubicación del área en estudio.

Base de datos climáticos

Se utilizaron datos diarios de lluvias de 3 estaciones meteorológicas circundantes al Sistema Serrano de Ventania (y con mayor período de registro disponible). Las mismas fueron: Tornquist, Coronel Suárez y Coronel Pringles (ver Tabla I y Fig. 2).

Tabla I. Detalle de las estaciones utilizadas para el desarrollo del trabajo.

Registros pluviométricos	Altitud (msnm)	Años de registro
Estación Tornquist (SMN)	290	1911 - 1991
Estación Coronel Pringles	297	1911 - 1992
Estación Coronel Suárez	233	1937 - 2011



Figura 2. Ubicación de las 3 estaciones meteorológicas.

A su vez, se utilizaron datos provenientes de predios particulares, con períodos más acotados de registro (ver Tabla II y Fig. 3).

Tabla II. Detalle de las estaciones utilizadas para complementar el trabajo.

Registros pluviométricos	Altitud (msnm)	Años de registro
Parque Provincial Ernesto Tornquist	450	1953 - 1966
Estancia Los Recovecos	302	1915 – 1966
Estancia La Ventana	360	1887 - 1966
Estación Ferrocarril Sierra de La Ventana	255	1918 - 1966; 1971 - 1976
Estancia Cerro Colorado	464	1924 - 1966
Estancia Hogar Funke	325	1960 - 1966; 1980 - 2006
El Rincón (Villa Ventana)	410	1998 - 2011



Figura 3. Ubicación de las estaciones meteorológicas complementarias.

Aplicación de los índices de agresividad climática

La agresividad o potencial erosivo de las precipitaciones fue analizado a partir del cálculo de tres índices climáticos: el índice de Fournier (IF), el índice de Fournier modificado (IMF) y el índice de concentración de las precipitaciones (ICP), a partir de registros de precipitación mensual.

Indice de Fournier. Fournier (1960) estableció un modelo de estimación de la producción de sedimentos, considerando los elementos en suspensión y acarreos, a partir de la correlación existente entre las características de una cuenca y los sedimentos emitidos por ésta. Como parámetro representativo del factor climático, utilizó el índice de agresividad climática (ver Ec. (1)).

$$IF = \frac{p^2}{P}$$ Ecuación 1. Indice de Fournier.

Siendo p la precipitación acumulada del mes más húmedo del año y P la precipitación acumulada anual, ambas expresadas en mm.

Indice de Fournier modificado. El índice de Fournier modificado (IFM) (Arnoldus, 1978), se aplica a precipitaciones anuales y mensuales. Su cálculo relaciona las precipitaciones mensuales con las anuales (ver Ec. (2)).

$$IFM = \sum \frac{p^2}{P}$$ Ecuación 2. Índice de Fournier modificado.

Siendo p la precipitación acumulada mensual y P la precipitación acumulada anual, ambas expresadas en mm. En la Tabla III se presenta la clasificación del IFM, elaborada por Lobos et al. (2005), la cual fue aplicada para analizar los resultados del presente trabajo.

Tabla III. Clasificación de IFM para Latinoamérica. Fuente: Lobos *et al*., 2005.

Clase	Rango	Clasificación
1	< 60	Muy bajo
2	60 a 90	Bajo
3	90 a 120	Moderado
4	120 a 160	Alto
5	> 160	Muy alto

Indice de concentración de las precipitaciones. Con el fin de determinar la variación temporal de la distribución de las lluvias, se calculó el índice de concentración de las precipitaciones (ICP) (ver Ec. (3)).

$$ICP = 100 * \sum \frac{p^2}{P}$$ Ecuación 3. Indice de concentración de las precipitaciones.

Siendo p la precipitación mensual (valores medios mensuales de la serie) y P la precipitación anual (valores medios anuales de la serie), ambas expresadas en mm. Este índice varía entre valores de 8,3 % y 100 % y permite evaluar la distribución de la lluvia a lo largo del año, definiendo la estacionalidad de las mismas. Con valores superiores, cercanos a 100, indica que la precipitación se concentra durante sólo un mes del año.

Análisis estadístico

En base a los resultados obtenidos en la serie extensa de datos a nivel regional, se dividió el análisis en dos períodos de tiempo, previo y posterior a 1970, debido a la diferencia en los registros pluviométricos antes y después de esa fecha, detectada a partir del análisis de la media móvil decádica.
Para la caracterización dentro de cada los dos períodos se utilizaron todas las estaciones disponibles, con el fin de fortalecer la caracterización local. Al tratarse de estaciones en su mayoría ubicadas en predios particulares, se realizó un análisis de doble masa con el fin de analizar la confiabilidad de la información brindada por las estaciones. El análisis de doble masa verifica la consistencia del registro en una estación, comparando la precipitación acumulada bien sea anual o estacional, con valores concurrentes,

acumulados, de precipitación media para un grupo de estaciones localizadas en los alrededores (Linsley, 1993).

RESULTADOS

A partir del análisis en conjunto para el registro completo de datos diarios de las estaciones Tornquist, Coronel Suárez y Coronel Pringles, se efectuó a través de un análisis estadístico utilizando la media móvil decádica (ver Fig. 4).

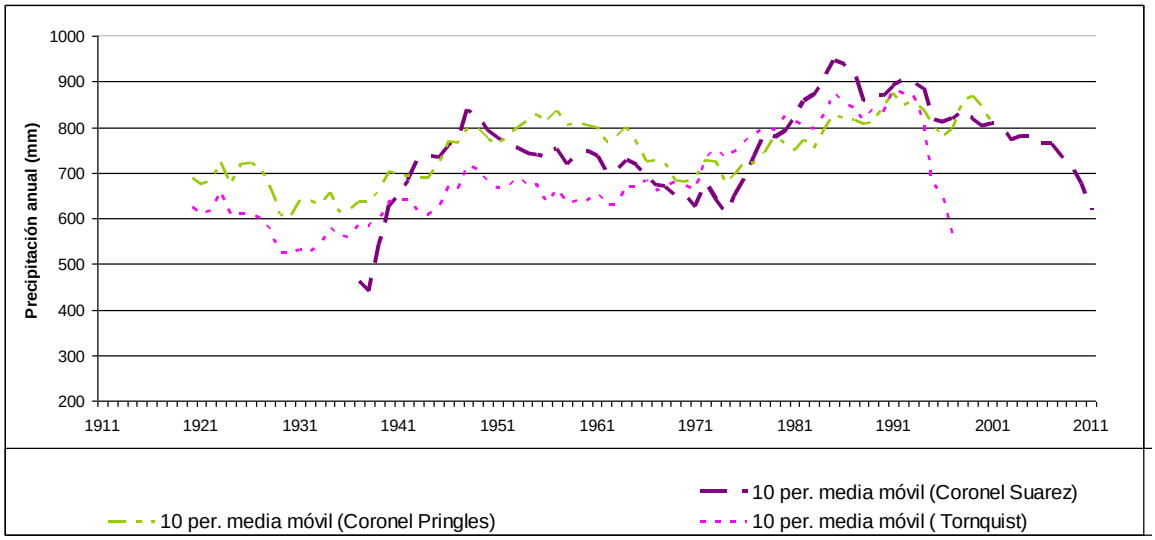


Figura 4. Media móvil para las estaciones de Tornquist, Coronel Pringles y Coronel Suárez.

Se observa una variación entre el período previo y posterior a 1970, el período previo podría caracterizarse como un período más seco, frente al período posterior a 1970, el cual se podría caracterizar como un período húmedo, donde las precipitaciones anuales tienden a superar los 800 mm. En el período previo a 1970 las precipitaciones se sitúan mayormente entre los 600 y 750 mm anuales.

Análisis temporal

El período denominado "previo a 1970" abarcó la mayor cantidad posible de estaciones meteorológicas (siete), por lo cual se restringió el período de análisis desde los años 1937 a 1966, por ser el espacio de tiempo coincidente para el mayor número de estaciones. El análisis del período denominado "posterior a 1970" abarcó desde 1980 a 2006. Se realizó con los datos de la estación de Coronel Suárez (registro disponible hasta 2010), y se incorporó la estación Hogar Funke (registro de 1980 a 2006). La estación El Rincón fue utilizada de modo complementario por poseer el registro disponible más actual (período 1998 a 2011).

A partir de los resultados obtenidos con el análisis de doble masa se consideró que las variaciones fueron mínimas en el registro de las estaciones y por lo tanto, la totalidad de

las estaciones son aptas de ser utilizadas en el análisis, sin la necesidad de realizar correcciones previas.

Precipitación anual

Se analizó la precipitación anual, considerando la media de las siete estaciones meteorológicas disponibles para el período previo a 1970 (ver Fig. 5) y las dos estaciones para el período posterior (ver Fig. 6).

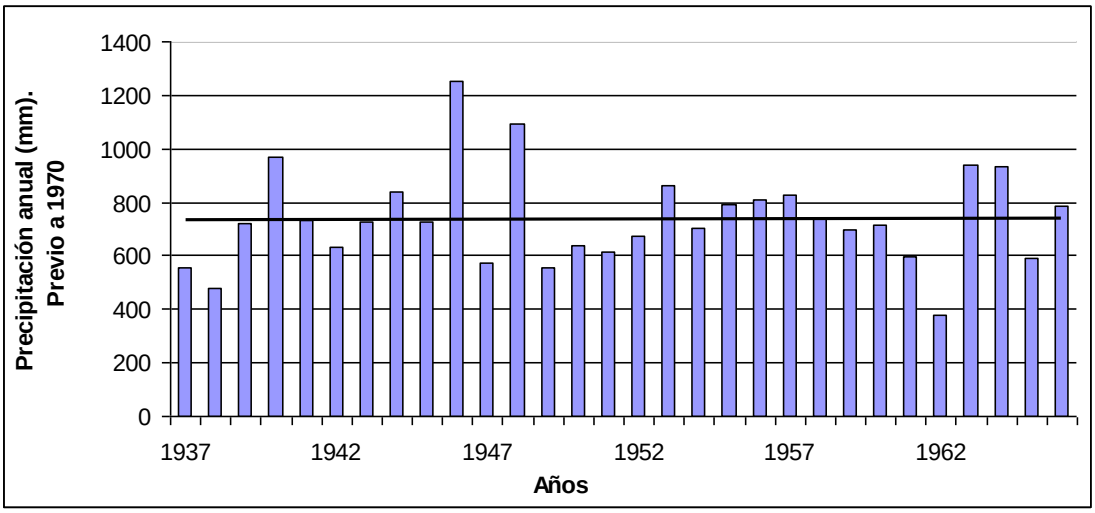


Figura 5. Precipitación anual para el período previo a 1970 (1937-1966).

Se observan fluctuaciones interanuales a lo largo de los 30 años de análisis. Se presenta la línea de tendencia con una pendiente mínima de 0,22, indicando que las mencionadas fluctuaciones se compensan a lo largo de los 30 años. Se observa un déficit hídrico a principios de la década del 60, durante el año 1962, donde la precipitación anual sólo llega a ser de 375 mm. Esta particularidad presenta su correspondencia con lo sucedido en otras regiones del planeta para ese mismo año, donde los registros pluviométricos disminuyeron notablemente (Namias, 1966; León, 2004; La Nueva Provincia, 2008 y Seagar *et al.*, enviado 2011).

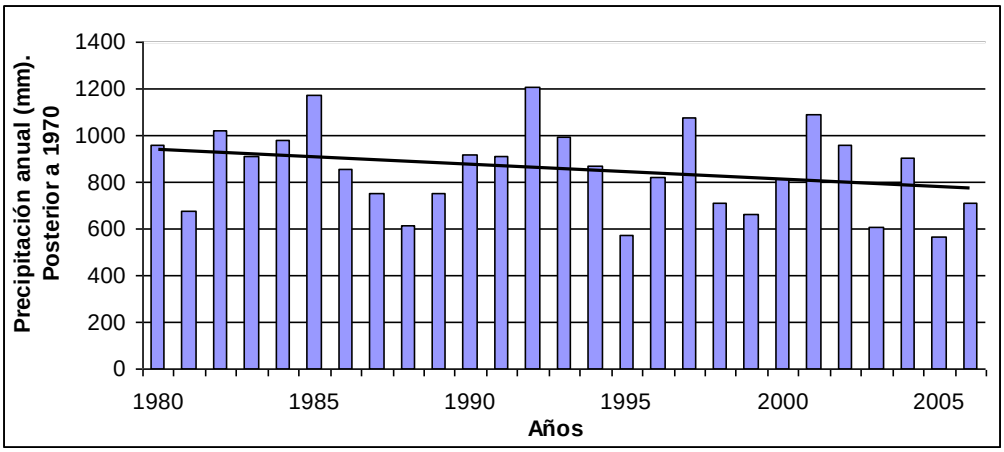


Figura 6. Precipitación anual, para el período posterior a 1970 (1980-2006).

Al encontrarse ambas estaciones distanciadas en más de 70 km, hacen suponer que el comportamiento se corresponde con lo ocurrido a nivel regional. La línea de tendencia posee una pendiente negativa del -6,2 hacia el final del período analizado. De todos modos, se observa que los valores superan a los del período previo a 1970, ya que la media de la precipitación anual para este período fue de 855 mm, mientras que para el período previo a 1970 fue de 738 mm.

En el análisis complementario a partir de los datos brindados por la estación El Rincón, si bien los valores disminuyeron notablemente para el período 2005 a 2010, en el año 2011 la precipitación anual se incrementó alrededor de 300 mm respecto al año previo. La precipitación anual fue de 976 mm (período 1998-2011).

Indices de agresividad de las precipitaciones

Se presentan a continuación los resultados correspondientes al Índice de Fournier (IF), el Indice de Fournier modificado (IFM) y el Indice de concentración de las precipitaciones (ICP) para las siete estaciones meteorológicas, abarcando el período de tiempo comprendido de 1937 a 1966 (ver Tabla IV).

Tabla IV. Indices de agresividad de las precipitaciones, período previo a 1970.

Estaciones meteorológicas	IF	IFM	ICP
Estancia Cerro Colorado	13,27	84,81	12,87
Estancia Los Recovecos	14,57	66,63	13,83
Ferrocarril Sierra de La Ventana	10,40	68,84	12,90
Estancia La Ventana	11,75	68,05	13,06
Coronel Suárez	13,77	69,18	13,15
Coronel Pringles	16,67	70,60	13,62
Tornquist	10,24	60,83	13,18

Los resultados obtenidos para las dos estaciones estudiadas para el período posterior a 1970, se presentan a continuación (ver Tabla V).

Tabla V. Indices de agresividad de las precipitaciones, período posterior a 1970.

Estaciones meteorológicas	IF	IFM	ICP
Hogar Funke	11,66	74,44	12,94
Coronel Suárez	16,02	80,52	13,09

Los valores medios de los índices para el período previo a 1970 se corresponden con un IF de 12,95, IFM de 69,85 y un ICP de 13,23. Para el período posterior a 1970 los valores medios obtenidos se incrementan para IF (13,84) y IFM (77,48), mientras que decrece el valor de ICP (13,02). Se evidencia un cambio en el comportamiento de las precipitaciones comparando estos dos períodos entre sí, habiéndose incrementado la agresividad de las mismas en la actualidad. De todos modos, de acuerdo a la clasificación de rangos de IFM de Lobos et al. (2005), citada previamente, los valores medios de IFM se mantienen dentro del rango denominado Bajo en ambos períodos.

En cuanto al ICP, al comparar los resultados obtenidos para los dos períodos, se observa similitud entre ambos valores (13,23 y 13,02). De este modo, la distribución de las precipitaciones a lo largo del año presenta un comportamiento homogéneo, esta caracterización sobre la homogeneidad de las precipitaciones concuerda con resultados a nivel regional, previamente alcanzados por Gaspari et al. (2008).

Cabe destacar que la estación El Rincón, no incluida en el análisis previo, por su acotado período de registro (1998 a 2011), presentó un valor de IF de 17,01, IFM de 95,6 e ICP de 12,94. De este modo, el valor de IFM pasa a integrar el rango de Moderado en la clasificación de Lobos et al. (2005), correspondiéndose con un incremento de la agresividad de las precipitaciones.

DISCUSIÓN

Frente a la acotada disponibilidad de series largas de datos pluviométricos, se consideró adecuado separar el análisis entre un período previo y otro posterior a 1970, posibilitándose de este modo el estudio de la variación inter e intraanual de las precipitaciones. Se encontró un incremento entre las precipitaciones medias anuales de ambos períodos que van desde 738 mm (período previo a 1970), hasta 855 mm en la actualidad.

Se observó además un adelanto en la ocurrencia de los períodos de mínimas precipitaciones desde el mes de agosto (período previo a 1970), al mes de junio (período posterior a 1970). A su vez, los meses con mayores valores de precipitación también se modificaron, aunque en una menor magnitud: previo a 1970 los mayores registros se detectaban en marzo y noviembre, mientras que en la actualidad los mismos ocurren en los meses de enero, marzo y octubre. Estas modificaciones deberían ser analizadas en profundidad en investigaciones posteriores, de modo de establecer su posible influencia sobre el desarrollo de los diversos cultivos regionales, así como sobre la flora nativa aún remanente.

En cuanto a los Indices de agresividad de las precipitaciones, los resultados evidenciaron un incremento, aunque de escasa magnitud, en los valores de dichos índices en la actualidad. Esta tendencia, en conjunto con las modificaciones en el uso

del suelo a nivel regional podría generar un incremento directo en los valores de escurrimiento superficial y consecuentemente incrementar la emisión de sedimentos, incrementando así la degradación de los suelos de esta particular región del sudoeste bonaerense. Asimismo, y como característica de esta región se destaca la presencia de pendientes pronunciadas y suelos de escasa profundidad, factores que constituyen otro factor adicional de riesgo ambiental frente a la degradación del recurso suelo. En este aspecto, cabe destacarse que existen prácticas de manejo conservacionista en ciertas áreas, con buena aceptación por parte de los productores, lo cual brinda esperanzas en cuanto a la implementación de futuros planes de ordenamiento territorial.

Como falencia en el presente estudio, se debe mencionar la escasa disponibilidad de datos pluviométricos diarios en las distintas estaciones, ya que en la mayoría de los casos se contó sólo con información de carácter mensual.

CONCLUSIONES

Los cambios en las precipitaciones han sido estudiados a partir de los distintos índices utilizados. Ha sido posible observar un leve incremento de los mismos a lo largo del tiempo, al comparar los valores previos y posteriores a 1970. El valor medio de IF varió de 12,95 a 13,84, el IFM de 69,85 a 77,48 y el ICP de 13,23 a 13,02.
Se torna imprescindible la ampliación de la red de estaciones meteorológicas oficiales en la región, de modo de poder dar mayor respaldo a las determinaciones. Además, el acceso a datos de índole pluviográfico, en lugar de meramente pluviométricos, permitiría la aplicación de diversos modelos hidrológicos, lo cual sería un gran aporte para los tomadores de decisión a nivel local y/o regional. En este sentido, es que se plantea la aplicación de programas integrados de manejo y conservación de suelos como una necesidad inmediata para revertir el aumento de la pérdida de suelo y la consecuente merma en la producción de los mismos, resultando imprescindible el avance sobre estudios orientados a enriquecer el conocimiento de este ular ambiente serrano del Sudoeste bonaerense.

REFERENCIAS

Arnoldus H. M. 1978. An aproximation of the rainfall factor in the Universal Soil Loss Equation. De Boodst, M. y Gabriels, D. (Eds.). Assessment of erosion. John Wiley y Sons. Inc. Chichester – Gran Bretaña. pp: 127 – 132.

Besteiro S. y Delgado M. I. 2011. Evaluación de la agresividad de las precipitaciones en la cuenca del Arroyo El Pescado, provincia de Buenos Aires (Argentina). *Revista de la Facultad de Agronomía (UNLP),* **110** (2): 82-90.

Castiglioni M. G., C. I. Chagas, M. J. Massobrio, O. J. Santanatoglia & A. Buján. 2006. Análisis de los escurrimientos de una microcuenca de Pampa Ondulada bajo diferentes sistemas de labranza. *Ciencia del suelo,* **24** (2): 169-176.

Fournier F. 1960. Climat et érosion. La relation entre l'érosion du sol par l'eau et les précipitations atmosphériques. Ed. Presses Universitaires de France. Paris. 201 pp.

Gaspari F.J., A.M. Rodríguez V., G.E. Senisterra y M.I. Delgado. 2008. Determinación espacio temporal del índice de agresividad de precipitaciones en el sistema serrano de Ventania. Provincia de Buenos Aires – Argentina. *Revista Geográfica Venezolana*, **49** (1): 57 – 66.

Harrington, H. I. 1972. Sierras Australes de Buenos Aires. Academia Nacional de Ciencias. Geología Regional Andina. Córdoba. Argentina. P. 394-405.

IPCC. Intergovernmental Panel on Climate Change. 2007. Climate Change 2007: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Core Writing Team, Pachauri, R.K. and Reisinger, A. (Eds.) IPCC, Geneva, Switzerland. pp 104

IPCC. Intergovernmental Panel on Climate Change, 2014. Working Group III – Mitigation of Climate Change. Technical Summary.

Kristensen M. J. y J. L. Frangi, 1995. Los climas locales y la biodiversidad en los pastizales serranos australes.

La Nueva Provincia. 2008.
http://www.lanueva.com/edicion_impresa/nota/6/09/2008/896119.prt
Ultimo acceso 16/10/2012.

León, F. M. 2004. Las inundaciones de Cataluña del 25 de septiembre de 1962. Parte I. http://www.tiempo.com/ram/1598/las-inundaciones-de-catalua-del-25-de-septiembre-de-1962/ Ultimo acceso 16/10/2012.

Linsley R., Kohler M. y J. Paulhus.1993. Hidrología para ingenieros. Segunda edición. Editorial McGraw-Hill. 386pp.

Lizzi J. M. 2004. Caracterización regional de la estructura y el funcionamiento de los pastizales de Sierra de la Ventana. Aplicación en la planificación forrajera de un establecimiento ganadero de la región. Trabajo correspondiente al ciclo de intensificación para acceder al grado de ingeniero agrónomo. Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires.

Lobos D., D. Gabriels, F. Ovalles, F. Santibañez, M. Moyano, R. Aguilera, R. Pizarro, C. Sanguesa y N. Urra. 2005. Guía metodológica para la elaboración del mapa de zonas áridas, semiáridas y subhúmedas secas de América Latina y el Caribe. [Online]. http://www.cazalac.org/documentos/Guia_Mapa_ZA_ALC.pdf. (Ultimo acceso: 24 febrero, 2012).

Namias, J. 1966. Nature and possible causes of the Northeastern United States drought during 1962-65. Monthly Weather Review. Volume 94, number 9, September 1966. 543-554.

Oliver, J. E. 1980. Monthly precipitation distribution: a comparative index. Professional Geographer. 32 (3). pp: 300 – 309.

Paruelo, J. M., J. P. Guerschman, G. Piñeiro, E. G. Jobbágy, S. R. Verón, G. Baldi & S. Baeza. 2006. Cambios en el uso de la tierra en Argentina y Uruguay: marcos conceptuales para su análisis. *Agrociencia***, X** (2): 47 – 61.

Seager, R.; Pederson, N.; Kushnir, Y; Nakamura, J. and S. Jurburg. The 1960s drought and the subsequent shift to a wetter climate in the Catskill Mountains region of the New York City watershed. Submitted to Journal of Climate September 2011. LDEO Contribution Number xxxx. Disponible online:

http://www.ldeo.columbia.edu/res/div/ocp/drought/catskills/Seager_etal_Catskills_revised.pdf Ultimo acceso: 16/10/2012.

Wischmeier, W. H. and Smith, D. D. 1960. A universal soil-loss equation to guide conservation farm planning. 7th Int. Cong. Soil Sci. Trans. 1:418-425.

EL AVANCE DE LA FRONTERA AGRÍCOLA Y SU IMPACTO EN LA PÉRDIDA DE SUELO, TUCUMAN, ARGENTINA

Romina Díaz Gómez

Curso de Manejo de Cuencas Hidrográficas, Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, Universidad Nacional de La Plata. Diagonal 113 N 469. La Plata, Argentina.

CONICET, CCT La Plata

e-mail: rominadiazgomez@gmail.com

RESUMEN

Entre las variables que afectan la producción de sedimentos se encuentran, el clima, el uso del suelo y las características intrínsecas de la cuenca. La evaluación de la erosión hídrica contribuye a detectar áreas seriamente afectadas o con elevados riesgos, donde es prioritario aplicar medidas de mitigación. Los cambios de uso y cobertura del suelo (LUCC), el avance de la frontera agrícola, déficit de datos hidrometeorológicos, en un escenario de cambio climático aun no evaluado plenamente representan la principal amenaza en el incremento del proceso de erosión. Las cuencas de aporte al Embalse de Río Hondo presentan alta productividad agrícola, importantes núcleos poblacionales y presencia de eventos extremos como inundaciones. El embalse de Rio Hondo tiene la función de almacenaje de agua para riego, control de crecidas y generación de electricidad. Existen estudios de Batimetría demuestran que en treinta años se ha perdido la capacidad de embalse a razón de 1 % promedio anual, reduciendo la capacidad de almacenamiento y la superficie del espejo de aguas. El objetivo de este trabajo fue evaluar fue evaluar la relación entre LUCC y la pérdida del suelo a escala local entre 1986-2010 y posibles consecuencias en el Embalse Rio Hondo. Se cuantificó la pérdida de suelo a partir de la aplicación del modelo USLE (Ecuación Universal de la Pérdida de Suelo) y la integración de técnicas de teledetección-GIS (Sistemas de información geográfica). Los resultados alcanzados permitieron jerarquizar las cuencas en función de la producción de sedimentos, a diferentes escalas espaciales, como herramienta de apoyo a la toma de decisiones para establecer criterios de prioridad en la selección de planes de manejo y mitigación.

Palabras claves: LUCC, pérdida de suelo, cuenca hidrográfica.

Introducción

El cambio en el uso de la tierra (land use and cover change LUCC) es uno de los principales componentes del cambio global (Dale et al., 2000). Se sabe que uno de los efectos del cambio de cobertura natural a agrícola es el incremento en la pérdida del suelo. Este proceso trae varias consecuencias sobre los cauces, ambientes ribereños, y sus sumideros (humedales, lagos, marismas, estuarios) tales como mayores tasas de sedimentación y colmatación, eutrofización,

pérdida de capacidad de regulación del régimen hidrológico, y mayor intensidad de inundaciones (Orue 2007). El método más recomendado para cuantificar la pérdida del suelo por erosión hídrica es la ecuación universal de pérdida de suelo (USLE) desarrollada por Wischmeier y Smith (1978), (Chen 2000, FAO 1980, Kim 2014). La detección de áreas particularmente críticas por su riesgo de erosión, requiere de un enfoque integrado, analizado en diferentes escalas espaciales y temporales. A escala regional, en el país, Orúe et. al, (2007) cuantificó la pérdida de suelo y para la región del NOA, determinó que el 15 % presento riesgo alto (60-120 Tn.ha.año) muy alto (> 360 Tn.ha.año) en el año 2006 afectando a la provincia de Tucumán, según la clasificación de FAO-Unesco 1981. A escala local (cuencas), este modelo matemático permitió evaluar la pérdida de suelo por erosión laminar y estimar la tasa de erosión hídrica (Mg.ha/año) en función de los parámetros de precipitación, suelo, relieve, cobertura del suelo y la aplicación o no de prácticas conservacionistas (Irurtia et al., 2007, Busnelli 2009, Gaspari et al. 2009). A pesar de las limitaciones metodológicas de la aplicación de la USLE a diferentes escalas, se logró validar su aplicación a partir de datos de estaciones de aforos de caudales solidos (Basile, 2002) y por lo tanto es considerado entonces como una metodología robusta.

La región del NOA (Noroeste Argentino) presenta cambios dinámicos en el uso del suelo dados por procesos socioeconómicos que impulsaron la expansión de la agricultura sobre coberturas naturales. Se constató la presencia del proceso de deforestación en varios estudios a diferentes escalas (Grau et al. 2005, Gasparri et al. 2010, Volante et al., 2012) donde se destaca la pérdida de masa forestal en manos de la agricultura en las zonas de llanura. Sin embargo son escasos los estudios que analicen las consecuencias del cambio de uso del suelo en la pérdida del suelo a escala local. Por lo tanto, el objetivo de este trabajo fue evaluar la relación entre LUCC y la pérdida del suelo a escala local entre 1986-2010 y sus posibles consecuencias en el Embalse Rio Hondo.

Metodología

La zona de estudio corresponde a las cuencas subtropicales del Faldeo Oriental de las Sierras del Aconquija (FOA) y Sierras del Sudoeste (SS), las cuales forman parte de la cuenca del Río Salí, Tucumán, Argentina. Se diferencia un sector oriental cálido y seco con precipitaciones anuales del orden de 450-550 mm (Minetti 1999), y un sector occidental templado y húmedo con precipitaciones de 2000 mm anuales (Fernadez et al, 2003). La temperatura media registra valores entre 24-28,5°C y en invierno oscila entre 10-13°C. Presenta un relieve montañoso de 5300m de altura máxima y 100 km de largo en sentido norte-sur, que actúa como barrera orográfica frente a los vientos cálidos y húmedos estivales provenientes del anticiclón del Atlántico. Ver Fig, 1.

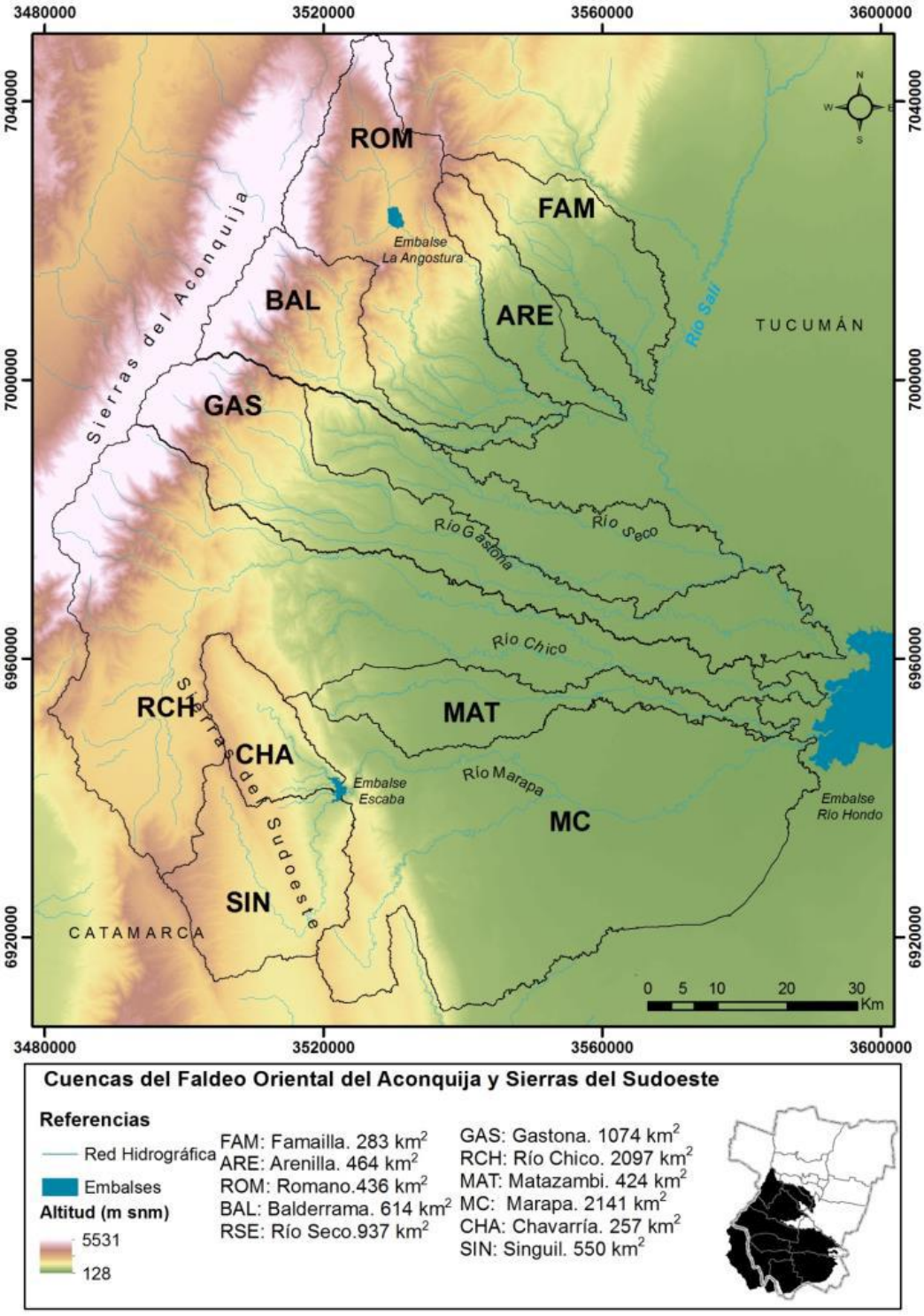


Figura 1. Caracterización de las cuencas de estudio según sector: Cuencas del Faldeo Oriental del Aconquija (FOA) y Sierras del Sudoeste (SS).

Determinación de LUCC.

El análisis de cambio de uso y cobertura del territorio se basó en técnicas de teledetección. A partir Las imágenes satelitales LANDSAT 5 (TM), del 23 de agosto de 1986 y 21 de agosto de

2010 (Path 231/230 row 79) (obtenidas del Instituto Nacional de Pesquisas Espaciáis de Brasil (INPE)(www.inpe.br). El pre-procesamiento espacial consistió en reproyectar todas las escenas al sistema de coordenadas planas propuesto para Argentina (POSGAR 98) Zona 3 y luego corregistrar las mismas. Se utilizó el método Dark Object Substraction (Chavez, 1988) que permite mejorar la comparabilidad entre escenas de diferentes años (Paolini et al., 2006). Para la clasificación de las imágenes Se aplicó el método de clasificación supervisada no paramétrica llamada Support Vector Machine (SVM; Chang, 2001; Wu, 2004), cuya precisión total fue de 89 %, Índice kappa: 0.82 para el año 2010. Se identificaron 6 clases de cobertura: bosque, conformada por los pisos altitudinales de las yungas australes. La clase bosque seco que incluye al bosque chaqueño distribuido hacia el este del área de estudio, pastizales de altura y cultivos de granos (incluye los cultivos de soja, trigo y suelo desnudo) y otros cultivos (cultivos de cítricos y algunas especies hortícolas en la zona pedemontana, cultivos extensivos de caña de azúcar distribuidos en toda el área y en menor escala cultivos de tabaco y arándano).

La delimitación de las cuencas en los dos sectores fue definida a partir del modelo de elevación digital (ASTER GDEM de 30m) y la base de hidrografía superficial de la Provincia de Tucumán de la Subsecretaría de Recursos Hídricos.

Aplicación de la ecuación de la pérdida del suelo usle (*universal soil loss equation)*

La ecuación para el cálculo de la pérdida de suelo superficial basado en Wischmeier y Smith (1978), ver Ec. (1). Utiliza seis factores: erosividad de la lluvia (R), susceptibilidad de erosión del suelo (K), largo de la pendiente (L), magnitud de la pendiente (S), cubierta y manejo de cultivos y residuos (C), y prácticas de conservación (P), para estimar la pérdida de suelos promedio (A) por el período de tiempo representado por R, generalmente un año (Gaspari et al, 2009).

A= R x K x L x S x C x P

Ecuación 1. Ecuación universal de pérdida del suelo

A: es la pérdida de suelos calculada por unidad de superficie (Mg. ha-1 ano -1). expresada en las unidades seleccionadas para K y el período seleccionado para R,

R: el factor lluvia y escurrimiento, es el producto de la energía total de la tormenta (E) y su máxima intensidad en 30 minutos (I). A pesar que este factor puede ser calculado para una sola tormenta, se considera representativa la cuantificación de todas las tormentas significativas registradas durante el período. La zonificación de este parámetro se basó en los datos empleados en Busnelli (2009). Donde se utilizó la fórmula de Fournier-Arnoldus (Índice FAO), y los datos pluviométricos obtenidos de la Estación Experimental Agroindustrial Obispo Colombres (EEAOC), de localidades del centro y sur de la provincia de Tucumán, para el período 1970-2000.

K: factor susceptibilidad de erosión del suelo: está relacionado con la estabilidad estructural del mismo. Se calcula a partir del porcentaje de las distintas fracciones granulométricas, el porcentaje de materia orgánica, la estructura y la permeabilidad del perfil del suelo. Los valores de K para las cuencas estudiadas fueron interpolados a partir de los utilizados por Busnelli (2009). Los cuales fueron calculados para cada unidad geomorfológicas a partir del estudio de

las relaciones existentes observadas entre la geomorfología del paisaje y las características edáficas.

LS: factor de longitud de la pendiente, representa la proporción de pérdida de suelos en una parcela de un largo de la pendiente específica con respecto a un largo de pendiente estándar (22,13 m). Se obtuvo a partir de los valores calculados por Busnelli (2009) determinados para cada unidad geomorfológica a escala provincial.

C: factor cubierta y manejo: es la relación entre el valor de pérdida de suelo en un campo con vegetación o cultivos y la pérdida ocurrida en un suelo en barbecho (Kirkby 1994). Cuanto más pequeño sea su valor, mayor será la cubierta vegetal y menor la erosión, debido que intercepta la lluvia antes de llegar al suelo, disminuyendo la erosión por salpicamiento, que provoca el encostramiento de los suelos desnudos, aumentando el escurrimiento superficial. (Busnelli 2009).

El factor C para los tipos de cobertura y usos en las cuencas de estudio, fueron tomados de Busnelli (2009), los cuales se estimaron por medio de muestreos a campos. Para realizar la cartografía temática referente a este factor, se tomó como base los mapa de uso y cobertura del suelo para el año 2010 y 1988, y se asignaron los siguientes valores promedios del factor c según el tipo cobertura y uso del suelo. Ver Tabla 1.

Tabla 1. Valores estimados para el factor C según el uso y cobertura del suelo en la cuenca FOA

Cobertura y uso del suelo	Factor C
Bosque	0,007
Bosque Seco	0,16
Pastizales de altura	0,002
Granos (maíz, soja, trigo)	0,31
Otros cultivos (caña de azúcar)	0,34

P: factor de prácticas de apoyo de conservación: es la proporción de pérdida de suelo con una práctica de apoyo como cultivo en contorno, fajas o cultivo en terrazas, con respecto a aquella labranza en el sentido de la pendiente. Los valores de p asignados a cada tipo de cobertura y uso del suelo se basaron en el mapa de cobertura y uso del año 2010 y fueron determinados a partir de los publicados por Busnelli (2009). La cuantificación y especialización de los factores de la USLE fue realizada en formato raster con un tamaño de pixel de 30 m.

Como resultado de procesamiento de la información geoespacial de cada factor que forma parte de la ecuación USLE y su cruzamiento, se obtuvo la distribución espacial de la pérdida de suelo por erosión laminar, lo cual permitió estimar la tasa de erosión hídrica potencial (Mg.ha-1año-1) en las cuencas FOA y SS.. Se clasificó el mapa de pérdidas de suelo de acuerdo grado o clase de riesgo erosivo según Busnelli (2009). Ver tabla 2.

Tabla 3. Clases de riesgo erosivo según Busnelli (2009)

Clase de riesgo erosivo	Pérdida (Mg.ha -1 año-1)
Sin Riesgo	< 5
Muy Bajo	5 - 14
Bajo	14 - 29
Moderado	29 - 47
Moderado alto	47 - 63
Alto	63 - 80
Muy Alto	> 80

Resultados

Los cambios en el uso del suelo y cobertura en las cuencas FOA, fueron muy dinámicos entre 1986-2010. Se identificaron dos zonas con patrones de cambios característicos a través del gradiente altitudinal, las zonas de las cuencas bajas o de llanura y la zona de las cuencas altas. El principal cambio observado en las cuencas bajas, fue la deforestación, con un cambio neto de 1028 km2 de bosque seco que fueron reemplazados por tierras destinadas a cultivos durante los 24 años de análisis. El uso del suelo para granos incrementó su superficie en 468 km2 y la clase cultivos en 604 km2. Mientras que en las cuencas altas la superficie boscosa fue de 35,54 % en el área de estudio en el año 1986 y el 37,23 % en el año 2010, representando un incremento de 86km2 sobre la cobertura de pastizal. Sin embargo, en las zonas del pedemonte se identificó la pérdida del bosque por áreas de cultivo en 44 km2 destinados a cultivo de granos y 10 km2 a otros cultivos. Ver Fig. 2.

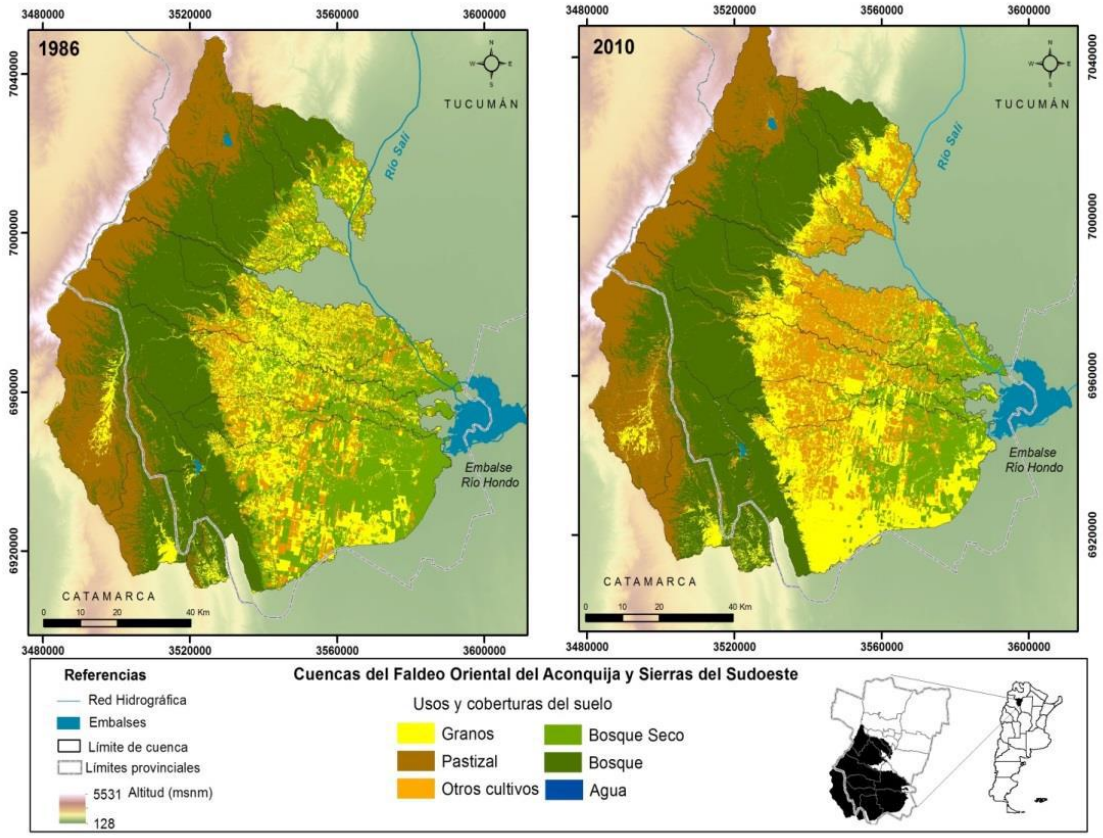


Figura 2. Mapas de uso y cobertura del suelo en las cuencas FOA y SS para el año 1986 y 2010.

La distribución espacial del factor R representa las curvas de erosividad de las precipitaciones en el área de estudio, presentó valores < 70 (J.cm.m-2.h-1) en la llanura deprimida, incrementándose hacia el oeste hasta alcanzar valores máximos a 400 (J.cm.m-2.h-1) en la parte media de las laderas altas , sobre la vertiente oriental de la Sierra del Aconquija. El elevado poder erosivo responde a la abundante pluviosidad y refleja el gradiente este- oeste característico del área de estudio. Mientras que el mapa del factor K, se cuantificó por unidad geomorfológica indicando la susceptibilidad del suelo a la erosión. Los valores oscilaron entre 0,25-0,68. En las superficies cumbrales se asignaron valores de 0,42, en los abanicos aluviales pedemontanos 0,52 y en la llanura distal 0.68. Los mapas para cada factor se presentan a continuación. Ver Fig. 3.

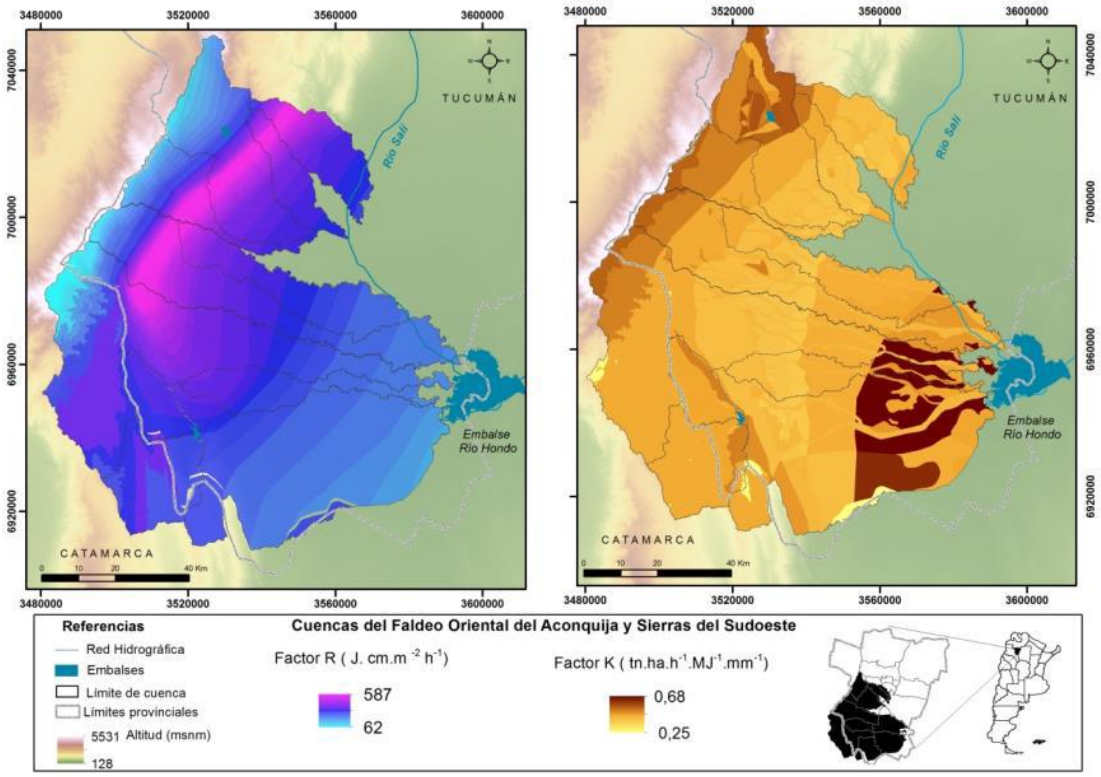


Figura 3. Mapas para el factor R (erosividad de la lluvia) y Factor K (erodabilidad del suelo) en el área de estudio.

La espacialización del Factor LS es correspondiente al empleado por Busnelli (2009), cuyos valores se presentan por unidad geomorfológica. Por ejemplo, en laderas denudacionales húmedas de alta pendiente toma valores de 17,10, en las superficies cumbrales LS de 12,02, y valores entre 0,18-0,49 en la llanura. .Se presentan el mapa del factor C y factor LS, ver. Fig.4.

Los factores que dependen del uso y cobertura del suelo se obtuvieron a partir del mapa del año 1986 y 2010.El factor P el cual se refiere a las practicas conservacionistas efectuadas en los cultivos, por lo tanto, presenta valores de 1 en las coberturas naturales de (Pastizal, Bosque y Bosque seco) mientras que para las zonas de cultivo el valor de p es 0,80, debido a que cuentan con prácticas conservacionistas no muy efectivas o reducidas a pequeñas áreas.

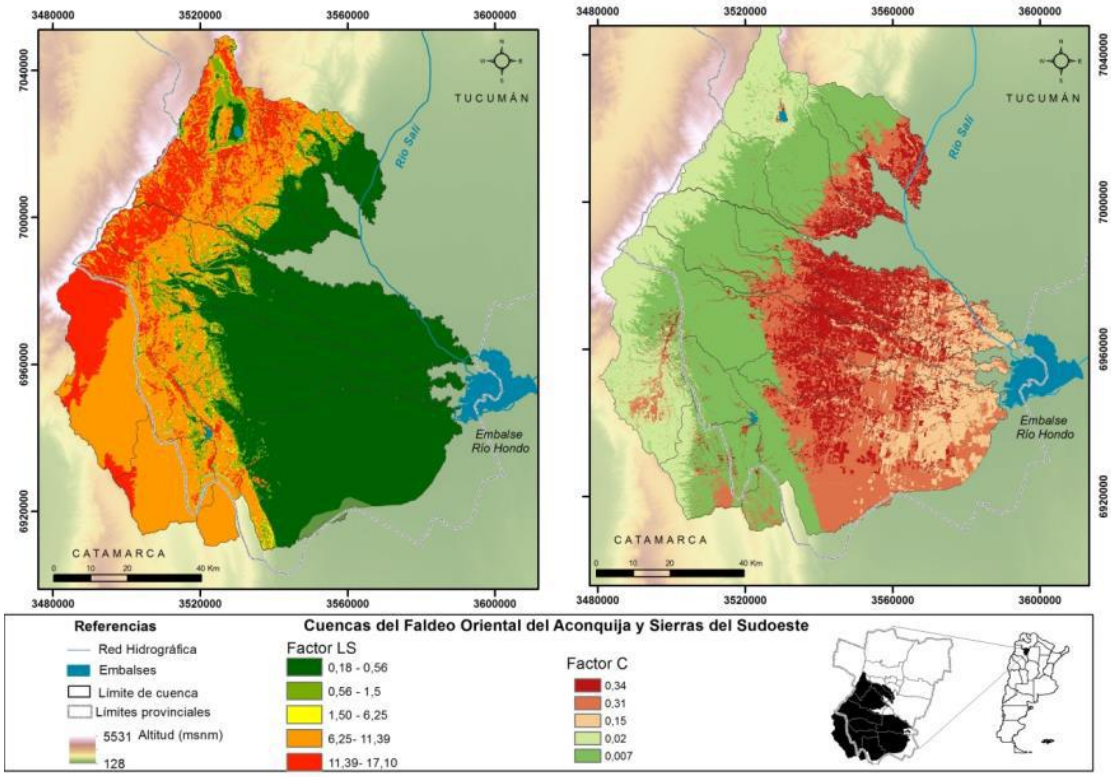


Figura 4. Mapa del Factor LS (longitud de la pendiente) y Factor C (cubierta y manejo) el áre de estudio

Los resultados de la aplicación de la USLE, demuestran que las cuencas FOA y SS presentan alta variabilidad espacial de tasas de erosión hídrica en el año 1986 y 2010. Ver Fig 5. El 59 % de la superficie presenta muy bajo riesgo erosivo (5 - 14 Mg.ha-1año) en el año 2010, distribuido en las zonas de baja pendiente (menor al 20%). Mientras que el 22% del área corresponde a zonas sin riesgo erosivo (< 5 Mg.ha -1 año-1), la cual se distribuye en el área de transición con las zonas bajas, donde se concentra la cobertura boscosa y en la zona de llanura donde se ubican áreas de anegamiento y humedal. También en áreas perifluviales cubiertas por remanentes de bosques.

El riesgo erosivo moderado ocupa 14% (29-47 Mg.ha-1 año-1) del área de estudio, su distribución corresponde a zonas de pendientes elevadas (mayor al 60 %) bajo cobertura de pastizal. Igualmente se identifican zonas puntuales de riesgo moderado en las zonas de llanura coincidente espacialmente con áreas de cultivo intensivo. El riesgo moderado alto de erosión ocupa un 1 % de las cuencas FOAS, se distribuye en el pedemonte en franjas con pendiente entre 30 -60 %. Mientras que las categorías de moderado a alto y alto no ocupan superficie considerable en el área de estudio.

Finalmente, las zonas con muy alto riesgo de erosión ocupan 2% (192 km2) de la superficie en las cuencas FOAS y SS, encontrándose entre la zona del pedemonte, sobre cauces fluviales, y en áreas cumbrales, donde se combina elevadas pendientes y zonas de cultivos.

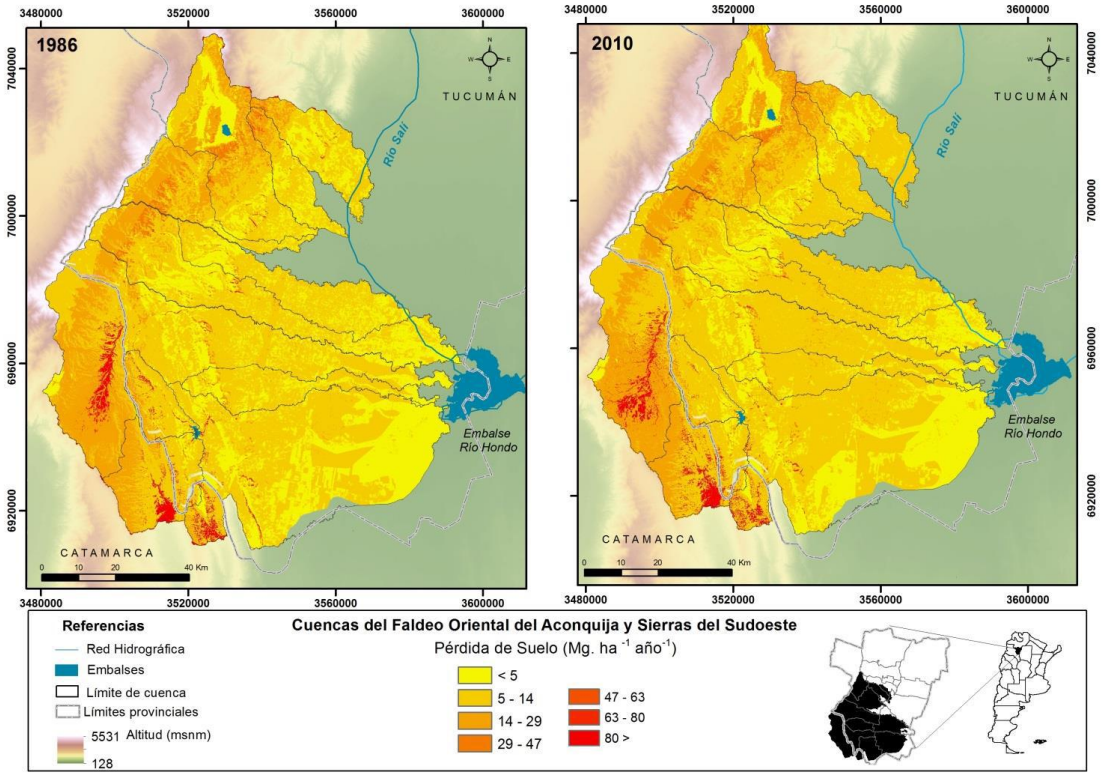


Figura 5. Mapa de pérdida de suelo para el año 1986 -2010 en las cuencas FOA y SS.

Al evaluar el impacto de LUCC en la pérdida del suelo durante el período 1986 y 2010. Los resultados obtenidos indican que un lapso de 24 años, los cambios de cobertura y uso del suelo produjeron cambios en el patrón de distribución de pérdida de suelo en las cuencas FOA.

Se observó que la clase de muy bajo riesgo (5 -14 Mg.ha-1 año-1) incrementó 6 % en las cuencas FOA, equivalente 533 km2, cuyo cambio podría haber ocurrido por la expansión del uso del suelo para cultivos (1028 km2) sobre el bosque seco en la zona de llanura.

El riesgo erosivo bajo no presenta cambios para el período analizado. Sin embargo, el riesgo moderado, distribuido en las zonas montañosas, disminuye respecto al año 1986 0,36 % correspondiente a 27 km2 de superficie, este cambio podría explicarse a través de la expansión de los bosques (86 Km2) sobre la cobertura de pastizal en esta zona entre 1986 y 2010.

Además, el riesgo erosivo muy alto incrementa 32 km2 debido a la expansión de zonas con cultivos en zonas montañosas cuencas ubicadas al sudoeste del área d estudio. Principalmente en la cuenca del río Singuil y Cuenca alta del río Chico.

A partir de un análisis espacial por unidad de manejo, la cuenca, y según porcentaje de área que ocupa cada rango de pérdida de suelo se puede identificar cuáles son las cuencas más vulnerables. y jerarquizarlas según el grado de prioridad en la aplicación de medidas de mitigación. Ver. Figura 4. Se observa que las cuencas con mayor porcentaje de ocupación perdida entre > 80 Mg.ha -1 año-1, son las cuencas de Río Chico, Singuil, Gastona y Famailla.

Todas las cuencas presentan entre 50 – 70 % de superficie con de perdida de suelo entre 5 – 14 Mg.ha -1 año-1. Además presentan entre el 14 – 32 % de superficie con pérdida de suelo entre 14 – 29 Mg.ha -1 año-1.

Discusión

Las zonas altas (700–2000 msnm) del área de estudio que presentan cobertura boscosa, amortiguando la pérdida del suelo. Sin embargo, estas zonas son susceptibles al riesgo de erosión ante cambios potenciales, al cambiar la cobertura hacia otros usos y sin medidas de conservación incrementándose la pérdida de suelo. Estos resultados son consistentes con lo expuesto por (Orúe 2007).indicando al factor LS, como la variable con mayor incidencia (r= 82) en la pérdida del suelo a escala regional. El factor de erosividad de la lluvia, constituye otra variable crítica determinante en las cuencas con climas estacionales, alteraciones en la variabilidad climática incrementaría el riesgo erosivo en toda el área de estudio.

El incremento del uso del suelo para cultivos y la consecuente pérdida del suelo podría estar relacionado al manejo regional de los suelos, debido a escacez de rotación de cultivos y la tasa de descomposición del rastrojo de soja puede ser lo suficientemente elevada como para dejar el suelo con poca cobertura al momento de la siembra de la campaña siguiente (Corbella et al., 2000), lo cual favorece la pérdida del suelo y nutrientes por erosión hídrica, respecto de aquellos sistemas que incluyen la rotación de cultivos con maíz (Sanzano, 2001). En las áreas con otros cultivos como los citrus y arándano se cultivan respetando la curva de nivel, sin embargo es una medida que presenta un umbral de tolerancia a la erosión. Este tipo de uso del suelo es el que se ubica en la zona del pedemonte en las cuencas en estudio.

La expansión agrícola y el incremento de la pérdida del suelo, podría tener un efecto negativo en la duración de la vida útil del embalse Rio Hondo. Los análisis de batimetría en el embalse de Rio Hondo evidencian la disminución de la vida útil del mismo. En el último relevamiento de 2011 del estado de colmatación de Rio Hondo, se concluye que la pérdida de capacidad del embalse desde su construcción (para cota 275 m), es de aproximadamente 250 hm3. Esto representa un 13 % del volumen original, o sea la tasa anual promedio de sedimentación del embalse resulta de 0,31% (si se toma hasta cota 274 m, estos valores resultan ser de 16.29 % del volumen original y una tasa promedio anual de 0,38 %) Además la mayor sedimentación se da en la cola del embalse, en las zonas donde aportan los cursos de agua, (Incociv 2011). Esta situación sugiere que es el resultado del incremento de las áreas agrícolas sin medidas de conservación en las cuencas de aporte. La jerarquización de las cuencas con mayor pérdida del suelo concuerdan con Mariot (2000) quien expresa que el río Balderrama es uno de los tributarios que mayor aporte de sedimentos tiene al río Salí, el cual aporta un 53,6 % del total al Embalse. El río Medina aporta un total del 29 % de sedimentos que entran al embalse, le sigue en orden la cuenca de Río Gastona (1 2%), cuenca del río Marazambi (2 %) y el río Marapa (1 %).

Conclusión

La aplicación de la ecuación universal de pérdida de suelo USLE, permitió analizar la relación entre LUCC y pérdida de suelo en las cuencas de aporte al Embalse Río Hondo. Los resultados indican la distribución espacial de la pérdida del suelo y la identificación de las cuencas con zonas prioritarias de conservación de los suelos. El controlador potencial de la pérdida del suelo

en las cuencas FOA es el manejo de los suelos y la pendiente. Las técnicas de teledetección y el uso de GIS, constituyen una herramienta útil en la toma de decisión y en estudios de procesos a escala espacial.

Bibliografía

Basile, P. A., 2002. Simulación Numérica de Eventos Hidro-sedimentológicos Extremos en Ambientes Fluviales Montanos y Pedemontanos. *Revista de Estudios sobre Cuestión Hidroambiental*, Cuadernos del Curiham, Rosario. Argentina., **8** (1), 11-25.

Busnelli J., 2009. Evolución Histórica, Situación Actual y Perspectivas Futuras del Riesgo de Inundación en la cuenca del Río Gastona. Tucumán. Argentina. Tesis Doctoral de la Carrera de Posgrado en Geología (Inédita). Facultad de Ciencias Naturales e Instituto Miguel Lillo. Universidad Nacional de Tucumán. 629 p. San Miguel de Tucumán.

Chan C. C., y Lin, C. J., 2011. LIBSVM: a library for support vector machines. *ACM Transactions on Intelligent Systems and Technology (TIST).*, **2** (3), 27.

Chávez P. S., 1988. An improved dark-object subtraction technique for atmospheric scattering correction of multispectral data: *Remote Sensing of Environment*., **24**, 459- 479.

Chen Y., 2000. Using GIS for calculating soil erosion in Toutunhe River Basin of arid Xinjian. In Laflen, J.M., Tian, J. and C.H. Huang(Eds.) *Soil erosion and dry land farming.* CRC Press. Boca Raton., 359 - 379.

Corbella R. D., Fadda, G. S., y García, J. R., 2000. Pérdidas de residuos de soja y maíz en distintos sistemas de manejo en suelos de la provincia de Tucumán. *International Soil Conference Organization (ISCO).* Buenos Aires. Argentina.

Dal Molín, C. N.; Fernández, D. y Escosteguy L.

Delgado M. I., 2010. Modelización de la pérdida de suelo en sierras del Sudoeste de la Provincia de Buenos Aires. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias*., 42.

FAO (Food and Agrilcutural Orgnization of the United Nations), 1980. Metodología provisional para la evaluación de la degradación de los suelos. Roma., 85.

FAO-PNUMA-UNESCO. 1981. Clasificación provisional para la Evaluación de la Degradación de los Suelos. Roma. Italia

Fernández, D. S y García, M. G.; 2003. Clima. Carta de Líneas de Base Ambiental 2766-IV: Concepción.,: 89-115. SEGEMAR. Tucumán. Argentina.

Gaspari F.J., Delgado M. I., Denegri G. A., 2009. Estimación espacio - temporal y valoración económica de la pérdida de suelo por erosión hídrica superficial. *Revista electrónica TERRA Latinoamericana, Organismo de difusión científica de la Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo*, A.C., **27**(1), 43-52.

Gasparri, N. I., Parmuchi, M. G., Bono, J., Karszenbaum, H., and Montenegro, C. L., 2010. Assessing multi-temporal Landsat 7 ETM+ images for estimating above-ground biomass in subtropical dry forests of Argentina. *Journal of Arid Environments*, **74**(10), 1262-1270.

Grau, H. R., Mitchell A., and N. Gasparri N. I., 2005. "Globalization and soybean expansion into semiarid ecosystems of Argentina." *AMBIO: A Journal of the Human Environment* **34**, no. 3, 265-266.

Incociv, Consultora. Estudios de Baltimetría Embalse Río Hondo. 2010.

INTA (Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria), 1995. Atlas de Suelos de la República Argentina, Escala 1:500.000 / 1:1.000.000.

Irurtia C., Cruzate G, Gaspari F., 2007. Aplicación de la USLE en la provincia de Buenos Aires para establecer tasas de erosión hídrica. Instituto Nacional de Suelos del INTA y Universidad Nacional de La Plata., 25.

Kim S. M., Jang, T. I., Kang, M. S., Im, S. J., and Park, S. W., 2014. GIS-based lake sediment budget estimation taking into consideration land use change in an urbanizing catchment area. *Environmental Earth Sciences*, *71*(5), 2155-2165.

Mariot V., 2000. Estudio de sedimentación del embalse de Río Hondo Valoración cualitativa y cuantitativa de los problemas erosivos que afectan a la Alta cuenca del río salí-dulce (provincias de tucumán -santiago del estero -argentina). Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Madrid.

Minetti J. L., 1999. Atlas climático del noroeste argentino. Laboratorio Climatológico Sudamericano. Universidad Nacional de Tucumán. Tucumán., 86.

Orúe M. E.; Laterra P.; y Cabria F.; 2007. Expansión de la frontera agrícola en Argentina y erosión hídrica: mapas de riesgo utilizando el Modelo Usle con apoyo de SIG. En *XII Congreso de Asociación Española de Teledetección. Mar del Plata*., 19-21.

Paolini L., Grings, F., Sobrino, J. A., Jiménez Muñoz, J. C.y Karszenbaum. H. 2006. Radiometric correction effects in Landsat multi-date/ multi-sensor change detection studies. International Journal of Remote Sensing., **27**, 685-704.

Sanzano G. A.; Hernández C.; Morandini M., Sosa, F., Rojas Quinteros H.; Sotomayor C., & Romero, J. 2012. Evaluación de la compactación de suelos en siembra directa en la Llanura Chacopampeana de la provincia de Tucumán, R. Argentina. *Revista industrial y agrícola de Tucumán*, ***89***(1), 31-38.

Volante, J. N., Alcaraz-Segura, D., Mosciaro, M. J., Viglizzo, E. F., y Paruelo, J. M., 2012. Ecosystem functional changes associated with land clearing in NW Argentina. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, *154*, 12-22.

Wischmeier W.H. y Smith D.D. 1978. Predicting rainfall erosion losses: A guide to conservation planning Agriculture Handbook No 537. US Department of Agriculture, Washington, D.C. EE.UU

Wu, T. F., Lin, C. J. y. Weng R. C., 2004. Probability estimates for multi-class classification by pairwise coupling. *Journal of Machine Learning Research*., **5**, 975-1005.

CARACTERIZACIÓN DE LOS EXTREMOS ANUALES DE PRECIPITACIÓN PARA LAS ESTACIONES METEOROLÓGICAS DE BAHÍA BLANCA, EL PALOMAR, AEROPARQUE Y EZEIZA

Diaz Resquin, M.[a,b], *Rössler, C.*[a,c], *Bonoli, M.*[b], *Picasso, E.*[b] *y Dawidowski, L.*[a,b,c]

[a]*Comisión Nacional de Energía Atómica, Gerencia Química, Centro Atómico Constituyentes, Argentina*
[b]*Universidad de Buenos Aires, Facultad de Ingeniería, Buenos Aires, Argentina*
[c] *Instituto de Investigación e Ingeniería Ambiental (3IA), UNSAM, Argentina*

e-mail: mdiaz@cnea.gov.ar

RESUMEN

La predicción de los períodos de retorno asociados a los eventos extremos de precipitación, forma parte del conjunto de herramientas necesarias para definir estrategias de adaptación al cambio climático. Con el objetivo de identificar esta variable para la Provincia de Buenos Aires, se analizaron los datos de extremos anuales de precipitación acumulada diaria para el período 1960-2013 registrados en las estaciones de Bahía Blanca, Aeroparque Jorge Newbery, Ezeiza y El Palomar, con distintas distribuciones de probabilidad de extremos, utilizando los métodos de ajuste no lineal de fractiles y máxima verosimilitud. Si bien históricamente los extremos de precipitación fueron asociados a distribuciones de Gumbel, en este trabajo se obtuvo en general un mejor ajuste con la distribución de Fréchet, pero todas las distribuciones consideradas mostraron dificultades para representar la cola superior de la distribución. Esta anomalía puede estar vinculada a la existencia de dos tipos de precipitaciones, las convectivas y las originadas por frentes, que conforman dos distribuciones diferentes. Sin embargo la baja ocurrencia de estos eventos no permite identificar distribuciones que puedan capturar la frecuencia mayor que se observa en el extremo superior de la distribución muestral. Si bien algunos autores señalan que este patrón que presentan los valores extremos puede atribuirse al fenómeno del Niño, analizando las series con y sin estos eventos se estableció que para los sitios estudiados la diferencia no resulta significativa. Asimismo se analizó la influencia del Cambio climático, estudiando las tendencias de las siguientes variables: (1) precipitación acumulada anual; (2) máxima persistencia de días secos y húmedos; (3) días anuales con precipitación diaria mayor a 10 mm; (4) precipitación acumulada anual para situaciones mayores al percentil 95. Las cambios de las mismas no resultaron estadísticamente significativos, por lo que se pudo establecer que los eventos de precipitaciones extremas no están vinculados al Cambio climático en la zona de estudio.

INTRODUCCIÓN

El cálculo de los períodos de retorno[5] de los eventos extremos de precipitación, herramienta necesaria para definir estrategias de adaptación al cambio climático, continúa teniendo dificultades al ser abordada con herramientas estadísticas para predecir ciertos eventos extremos (COLES, S. et al., 2003, SUAREZ BUENROSTRO, N., 2011). Calcular los eventos extremos a través de los datos históricos puede resultar en subestimaciones de aquellos eventos que suelen tener consecuencias graves como inundaciones.

[5] Períodos de retorno: Número de años en que un evento puede ser igualado o excedido.

La metodología estandar para modelar eventos extremos consiste en adoptar un modelo asintótico para describir la variación e inferir a través del mismo un pronóstico. Este trabajo plantea que además de existir una incertidumbre asociada al modelo utilizado que usualmente es ignorada, pueden existir subestimaciones de los eventos extremos debido al patrón de las precipitaciones. Para ello se analizaron los datos de extremos anuales de precipitación acumulada diaria para el período 1960-2013 registrados en las estaciones situadas en la Provincia de Buenos Aires.

DISTRIBUCIONES DE EXTREMOS

La distribución de Gumbel (GUMBEL, E. J., 1958), que es la históricamente asociada a la distribución de los extremos de precipitaciones, es un caso especial de la distribución generalizada de extremos (GEV) (JENKINSON, A.F., 1955) cuya función de distribución izquierda G(z) tiene la forma:

$$G(z) = e^{-\left[1+\xi\frac{z-\mu}{\sigma}\right]^{\frac{1}{\xi}}}$$

definida en z: $1+\xi\left[\frac{z-\mu}{\sigma}\right]>0, -\infty<\mu<\infty, \sigma>0, -\infty<\xi<\infty$ siendo **μ** el parámetro de localización; **σ** el de escala y **ξ** el de forma.

Esta familia de distribuciones puede desglozarse en tres tipos distintos, la distribución de tipo I o Gumbel, mencionada previamente, la de tipo II o Fréchet (FRÉCHET, M., 1927) y la de tipo III o Weibull (WEIBULL, W., 1951).

$$EVI: G(z) = e^{-\exp\left[\frac{z-\mu}{\sigma}\right]}, -\infty<z<\infty$$

$$EVII: G(z) = \begin{cases} 0 & z \le \mu \\ e^{-\left[\frac{z-\mu}{\sigma}\right]^{-\alpha}} & z > \mu \end{cases}$$

$$EVIII: G(z) = \begin{cases} e^{-\left[\frac{z-\mu}{\sigma}\right]^{\alpha}} & z \le \mu \\ 1 & z > \mu \end{cases}$$

Estudios anteriores plantean que las precipitaciones pueden deberse a distintas causas (SUAREZ BUENROSTRO, N., 2011, RIZWAN, M. and Kim, T., 2013, ESCALANTE–SANDOVAL, C., 2007), que pueden tener distribuciones diferentes, entonces se plantea la posibilidad de ajustar a una mezcla de dos distribuciones de Gumbel, también llamada Gumbel Mixta (GG).

$$G(z) = p\,e^{-\exp\left[\frac{z-\mu_1}{\sigma_1}\right]} + (1-p)\,e^{-\exp\left[\frac{z-\mu_1}{\sigma_1}\right]}$$

donde p es la proporción de cada distribución en la población completa.

DESCRIPCIÓN DE LOS DATOS

Con el fin de evitar tomar un caso aislado que no sea representativo del comportamiento general de la zona de estudio se utilizaron las siguientes estaciones (Ver Figura 1):

- 87571: El Palomar Aero (34 36' N 58 36' W)
- 87582: Aeroparque Jorge Newbery (34 34' N 58 23' W)
- 87576: Ezeiza Aero (34 49' N 58 32' W)
- 87750: Bahia Blanca (38 44' N 62 10' W)

Cada serie de datos diarios corresponde el período 1960-2013 y se realizó un control de calidad con el complemento RClimdex (ZHANG, X. et al., 2011) del software R (http://CRAN.R-project.org/) y posteriormente se calcularon los máximos anuales de Enero a Diciembre utilizados para realizar el análisis.

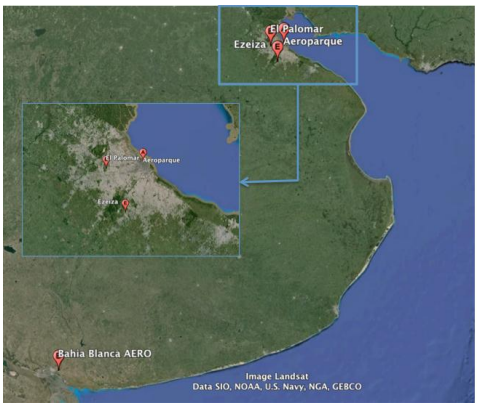


Figura 1 Ubicación de las Estaciones Meteorológicas El Palomar, Aeroparque Jorge Newberry, Ezeiza y Bahía Blanca

METODOLOGÍA

VERIFICACIÓN DE SUPUESTOS

Para ajustar una variable a una distribución se parte de determinados supuestos: (i) Las observaciones son independientes entre si y (ii) La muestra corresponde a una variable aleatoria estable (MERMOZ, O. and García, R., 2006).

Por ende, el primer paso consistió en chequear estos supuestos con el software SertempAl verificando que estos datos no pertenezcen a una serie de tiempo (BOX, G. et al., 1993).

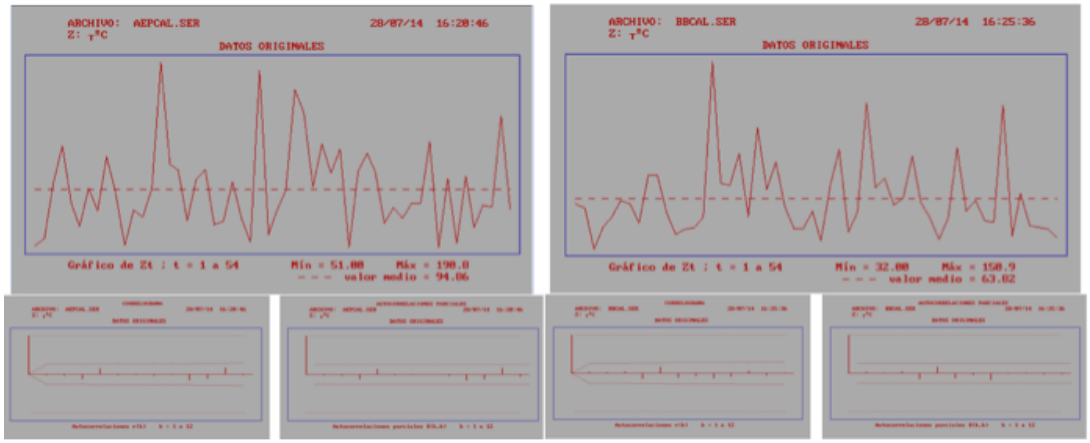


Figura 2 Serie de Tiempo, Autocorrelaciones y Autocorrelaciones Parciales para AEP y BB

Los resultados obtenidos a través de este software muestran que no hay autocorrelaciones ni autocorrelaciones parciales en la serie de datos y por lo tanto, se pueden tratar como datos independientes. Además, no se observan cambios en la media y la varianza en el tiemp. En la Figura 2 se muestran los resultados de las estaciones de Aeroparque y Bahía Blanca. En las demás estaciones se obtienen resultados similares.

METODOLOGÍA DE AJUSTE

Como se mencionó previamente, las distribuciones utilizadas para el ajuste fueron la distribución Generalizada de Extremos, la distribución de Gumbel y la mezcla de dos distribuciones de Gumbel.

Tanto el ajuste de distribución GEV como la de EVI fueron abordados por el método de máxima verosimilitud (MV), con el paquete in2extremes de R (GILLELAND, E. and Katz, R. W., 2011). Se realizó además el ajuste de la distribución GEV y Gumbel Mixta por el método de ajuste no lineal de Fractiles (AF), con una planilla de cálculo optimizada con el complemento Solver.

GEV Y EV1: MÉTODO DE MÁXIMA VEROSIMILITUD:

Este método fue creado por Ronald Aymer Fisher y propone que dado un conjunto de n observaciones independientes $x_1, x_2, \square , x_n$ provenientes de una muestra aleatoria de una población, suponiendo que corresponden a una variable continua, con una función de densidad $f(x)$, se llamará función de verosimilitud al producto de los valores que toma la función densidad de cada uno de los valores muestrales.

$$L(x) = f(x_1)\, f(x_2) \square \quad f(x_n)$$

El método consiste en calcular los valores de los parámetros que hagan máxima la función de verosimilitud ($L(x)$). Cabe destacar que los estimadores máximo verosímiles no son insesgados pero ésto puede corregirse si se los multiplica por una constante adecuada.

GEV: MÉTODO DE AJUSTE NO LINEAL DE FRACTILES:

El método de ajuste no lineal de fractiles permite encontrar aquel miembro de la familia cuya distribución $F(x)$ mejor se adecúe a la función muestral $F_m(x)$, utilizando tantos fractiles como se disponga. Busca minimizar en su conjunto las diferencias entre ambas distribuciones. Para ello, se definió como medida del grado de ajuste a la suma de los cuadrados de los residuos ponderados por su varianza, es decir, los residuos estandarizados $\left(e_j / s_j\right)$ por ser homocedásticos[6], lo que permite pesar de igual modo los valores del centro de la distribución y los de las colas. Considerando j como el número de orden de la muestra ordenada:

$$Q^* = \sum_{j=1}^{n} \left(\frac{e_j}{s_j}\right)^2 \qquad e_j = F_m(x) - F(x)$$

donde Q^* también puede expresarse como:

$$Q^* = \sum_{j=1}^{n} \frac{\left(z_j - F_j\right)^2}{j\left(n - j + 1\right)} (n+1)^2 (n+2) \qquad z_j = y_{j;0.5}$$

El miembro de la familia que mejor ajuste será el que resulte de minimizar la función

$$q^* = \sum_{j=1}^{n} \frac{\left(z_j - F_j\right)^2}{j\left(n - j + 1\right)} = \frac{Q^*}{(n+1)^2 (n+2)} \qquad z_j = y_{j;0.5}$$

[6] Homocedasticidad: varianza constante

donde n es el tamaño de la muestra.

GG: MÉTODO DE AJUSTE NO LINEAL DE FRACTILES:

Este método está basado en los estudios realizados por SUAREZ BUENROSTRO, N., 2011, que utilizan los períodos de retorno (T) en lugar de las precipitaciones como variable de ajuste ya que ésta tiene unidades de tiempo y está directamente asociada a la aplicación para la cual se realiza este ajuste.

Esta metodología se adaptó a la planteada por MERMOZ, O. and García, R., 2006 que propone minimizar la función de distribución en lugar de la de densidad minimizando, tal como se mencionó anteriormente, los residuos estandarizados.

$$T = \frac{n+1}{j}$$

donde n es el tamaño de la muestra y j el número de orden de la muestra ordenada en forma creciente.

El valor de probabilidad de no ocurrencia **p** asociado al mismo es: $\mathbf{p} = 1 - \frac{1}{T}$.

Es importante aclarar que el p definido previamente como la proporción de cada población en la mezcla total es diferente a **p** pero, al ser la nomenclatura utilizada habitualmente para estas variables, se mantendrá en este trabajo.

Finalmente, se procedió con el método de ajuste no lineal de fractiles utilizando el criterio de minimización mencionado en la Subsección anterior pero con cinco parámetros para hallar la minimización adecuada ya que están los parámetros asociados a cada distribución ($\mu_1, \mu_2, \sigma_1, \sigma_2$) y la proporción de cada población en el total (p).

RESULTADOS

En la Tabla I y en la Figura 3 se presenta un resumen de los resultados obtenidos. En el caso particular de la GEV, el ajuste resultó dentro de la familia EVII, en concordancia con lo que plantea KOUTSOYIANNIS, D., 2004. En algunos casos, el valor de ξ es tan pequeño que podría pensarse que una EVI podría ser más parsimoniosa[7]. Se puede destacar que el método de la mezcla de Gumbel suele capturar en la mayoría de los casos la moda principal y logra un mejor ajuste en la cola superior en la mayoría de los casos, exceptuando la estación de El Palomar. De todas formas, el resultado para este segmento de la distribución es bastante similar en todos los casos en valor absoluto y ninguno logra reproducir las anomalías que se presentan en la cola superior.

[7] criterio de parsimonia: en condiciones idénticas, sean preferidas las teorías más simples.

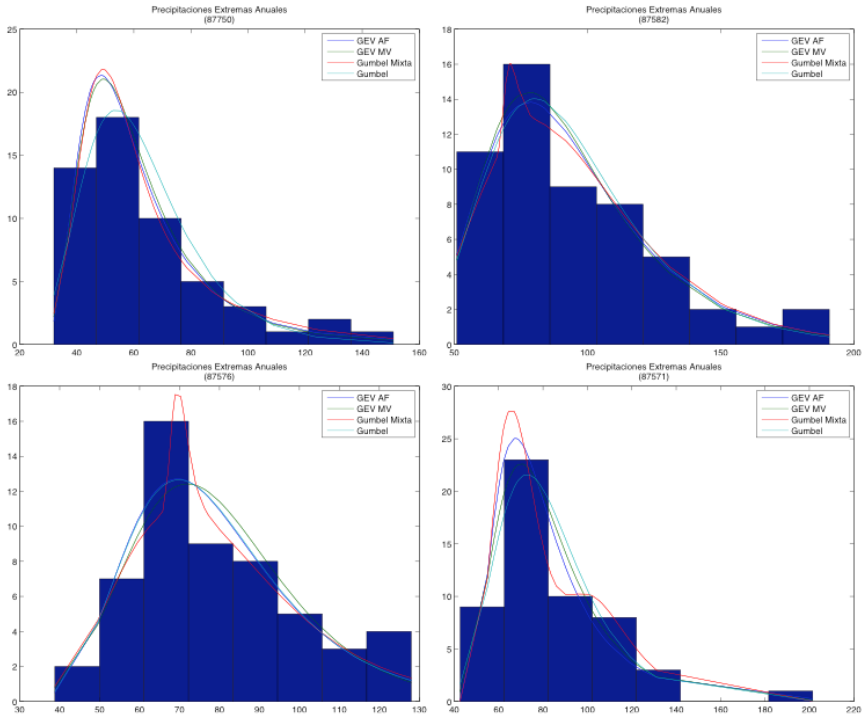


Figura 3 Histograma y Ajustes a las distribuciones GEV por MV y AF, EVi por MV y GG por AF

GEV (AF)					
Estación	ξ	σ	μ		
El Palomar	0.24	16.18	71.01		
Ezeiza	0.01	17.43	69.79		
Aeroparque	0.05	25.13	79.50		
Bahia Blanca	0.26	14.28	51.765		
GEV (MV)					
Estación	ξ	σ	μ		
El Palomar	0.10	17.52	71.87		
Ezeiza	−0.07	17.88	70.51		
Aeroparque	0.06	24.15	79.37		
Bahia Blanca	0.21	14.32	52.06		
EVI (MV)					
Estación	σ	μ			
El Palomar	18.26	72.87			
Ezeiza	17.50	69.79			
Aeroparque	24.75	80.17			
Bahia Blanca	15.88	53.76			
GG (AF)					
Estación	σ_1	μ_1	σ_2	μ_2	p
El Palomar	9.96	65.73	14.24	103.97	0.7029
Ezeiza	2.00	69.50	18.99	70.00	0.062
Aeroparque	26.70	80.43	2.53	70.78	0.7029
Bahia Blanca	9.913	48.69	27.23	65.89	0.6250

Tabla I Resumen de resultados obtenidos para las distintas estaciones por los métodos de ajuste utilizados: GEV por AV y MV, EVI por MV y GG por AF

CALIDAD DEL AJUSTE

CUADRADO MEDIO AJUSTADO

Un método de selección utilizado cuando el ajuste se realiza por el método de ajuste no lineal de fractiles es el del cuadrado medio ajustado (CM*) ya que tiene en cuenta no sólo los residuos sino también los grados de libertad.

$$CM^{*} = \frac{Q^{*}}{G.L.}$$

	GEV	EVI	GG
PALO	**0.266**	0.471	0.433
EZE	0.167	0.165	**0.124**
AEP	**0.206**	0.217	0.219
BB	0.087	0.391	**0.081**

Tabla II Resumen de CM para todas las estaciones.*

Ninguna de las estaciones obtuvo un menor CM* con la distribución de menor cantidad de parámetros, lo que implica que, en este caso, tener una distribución menos parsimoniosa estaría justificado. Las series de Palomar y Aeroparque Jorge Newberry ajustan mejor con GEV mientras que Ezeiza y Bahía Blanca, con Gumbel Mixta.
La subestimación de valores extremos no permite una buena predicción de los períodos de retorno. Hay que resaltar que estos eventos extremos que se observan en la cola superior no muestran evidencia de estar asociados a un cambio en la media en el tiempo ya que no tienen un patrón regular de crecimiento o decrecimiento temporal sino que son eventos que se encuentran a lo largo de toda la serie. Además, son justamente éstos los que suelen provocar las inundaciones y, por eso, su gran importancia y el motivo principal de su estudio.

PERÍODOS DE RETORNO, CUANTILES Y CRITERIOS AIC Y BIC

Se calcularon los AIC (Akaike information criterion) (AKAIKE, H., 1976), BIC (Bayesian Information Criteria)(SCHWARZ, G., 1978), los períodos de retorno y los cuantiles empíricos y teóricos para los ajustes por máxima verosimilitud de las distribuciones GEV y Gumbel utilizando el paquete in2extRemes de R.
En la Figura 4**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** se presentan los cuantiles teóricos y los empíricos para las distribuciones de GEV y EVI. Se observa que si bien ambos ajustes son buenos, tienen problemas para reproducir la cola superior. Sin embargo, la distribución GEV mejora los perídos de retorno calculados mediante el ajuste como se muestra en la Figura 5. Este problema que se observa para ajustar las colas puede deberse al efecto del fenómeno del ENSO, del Cambio Climático o al origen de las precipitaciones (de tipo convectivas[8] o de frentes[9]) que dominan el clima

[8] Las precipitaciones convectivas son las producidas cuando el aire asciende por diferencias de temperatura a causa de un calentamiento local. Cuando el gradiente adiabático es menor que el gradiente vertical medio de temperatura, el aire inestable asciende y se forman nubes de desarrollo vertical, dando lugar a precipitaciones tormentosas o inclusive granizo.

[9] Las precipitaciones por frentes cálidos, en cambio, suelen abarcar grandes extensiones y ser ligeras y continuas. Esto se debe a que el aire caliente avanza pero, al tener una densidad menor, no desaloja el aire

de la zona de cada estación resultando diferentes distribuciones asociadas. Este es un punto importante a tener en cuenta en detalle para poder explicar la falta de ajuste en esta zona.

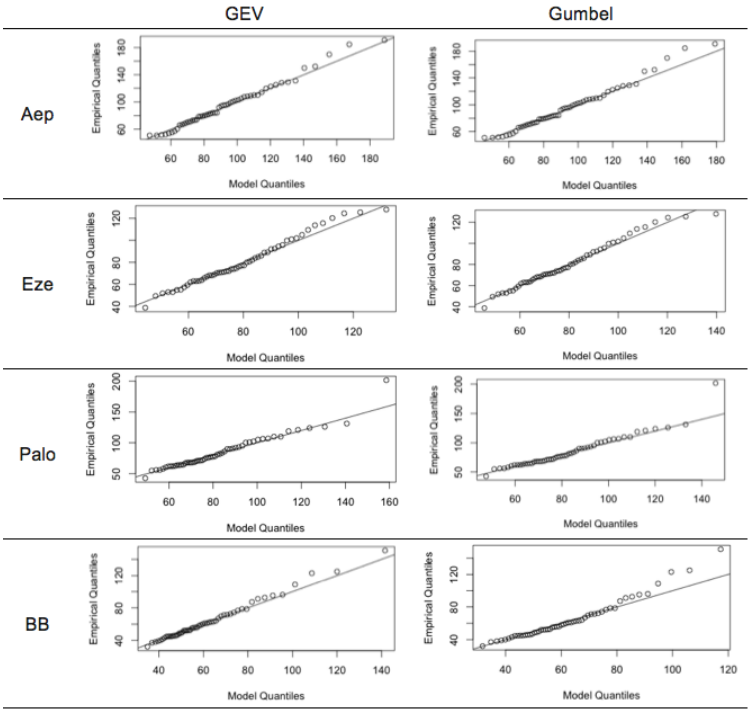


Figura 4 Q-Q plot: Cuantiles teóricos y empíricos para cada estación calculados para los ajustes de GEV y Gumbel por MV

frío completamente y, por tal motivo, asiciende suavemente por la superficie de aire frío formando nubes estratificadas.

Las precipitaciones de frentes fríos, suelen ser bruscas e intensas, debido a que el aire frío avanza y desplaza al aire. caliente originando un levantamiento del aire cálido formando nubes de desarrollos verticales con techos bastante altos.

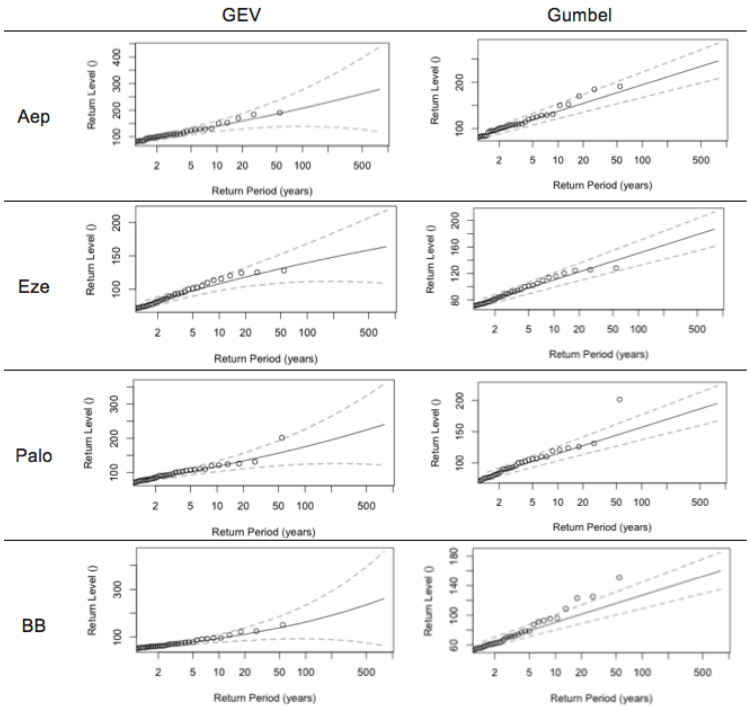


Figura 5 Períodos de Retorno para cada estación calculados para los ajustes de GEV y EVI por MV.

Los criterios de información Bayesiano (BIC) y de Akaike (AIC) permiten comparar distribuciones basándose en la función de máxima verosimilitud. Una ventaja de utilizar estos criterios es que permiten comparar distribuciones de distinta cantidad de parámetros ya que tienen un término que penaliza el número de parámetros fijados. Al comparar los coeficientes para las distribuciones GEV y EVI se observa que los EVI son, en general, levenmente menores, por lo que estos criterios sugieren la selección de la distribución de Gumbel, contrario a lo que mostraban los CM*.

Bahía Blanca	GEV	EVI
AIC	477.01	479.02
BIC	482.98	483.00
Aeroparque	**GEV**	**EVI**
AIC	524.37	522.63
BIC	530.33	526.61
Ezeiza	**GEV**	**EVI**
AIC	483.75	482.22
BIC	489.71	486.20
El Palomar	**GEV**	**EVI**
AIC	492.09	491.43
BIC	498.05	495.41

Tabla III Resultados de índices de AIC y BIC para las distintas estaciones.

ERROR RELATIVO

Como otra medida de la calidad del ajuste, se optó por utilizar el error relativo de cada distribución respecto del valor obtenido por los valores centrales de cada una de las clases (Ver Figura 6).

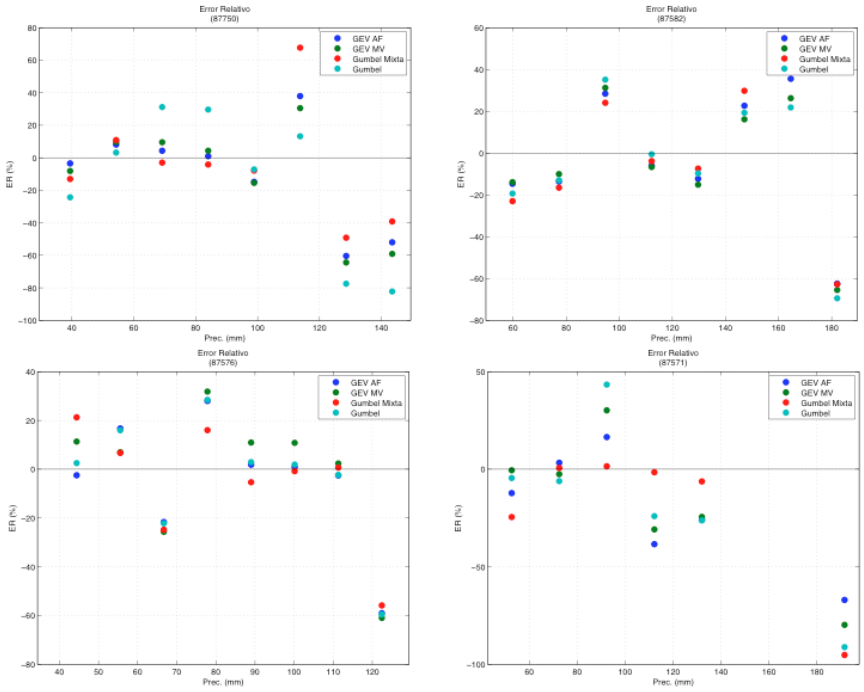


Figura 6 Error Relativo de las estaciones frente a la distribución muestra para, de izq. a der. y de arriba hacia abajo, BB, AEP, EZE y PAL.

No se observa una única distribución que ajuste mejor todas las estaciones pero si es común que todas las distribuciones subestiman los valores de la cola superior, llegando en algunos casos a una diferencia del 80%. La distribución de Gumbel Mixta es la que mejor logra adaptarse en términos generales a la forma de la distribución pero tiene más parámetros que el resto de las distribuciones, por lo tanto, no resultaría una solución parsimoniosa.
En el caso particular de la estación Aeroparque se puede observar que el ajuste es bastante similar en las 3 distribuciones evaluadas, Gumbel, GEV y Gumbel Mixta, no así en la estación del Palomar donde se observa una dispersión mayor entre ellas.

EFECTO DEL FENÓMENO DE LA OSCILACIÓN DEL SUR Y DEL CAMBIO CLIMÁTICO

Las anomalías de temperatura de superficie del mar (SST) asociadas con el fenómeno de la Oscilación del Sur, conocido como ENSO por su nombre en inglés *"El Niño Southern Oscillation"*, producen un calor anómalo y flujos de vapor de agua desde el Océano Pacífico hacia la atmósfera, razón por la cual, algunos estudios asocian el cambio en el patrón de los extremos de precipitación a éste fenómeno (WILLEMS, P., 2013, GRIMM, A. et al., 2009, HAYLOCK, M. R. et al., 2006, CAMILLONI, I. and Barros, V., 2000). Otros autores asocian este cambio en el patrón al Cambio Climático (DA SILVA TEIXEIRA, M. and Satyamurty, P., 2011).
Para evaluar los cambios en la frecuencia y en el patrón de precipitación en las estaciones meteorológicas analizadas en este trabajo se utilizaron los índices que se encuentran detallados en la Tabla IV calculados con el paquete RClimdex de R. Luego, realizando un análisis análogo al de Haylock et al. (2006) se calcularon las tendencias de estos índices para todos los años, para los años ENSO y los neutros y sus respectivas

significancias estadísticas no encontrándose tendencias significativas en ninguno de estos índices lo que haría pensar que las las variaciones no estarían relacionadas, en estas estaciones, a un cambio en los patrones de precipitación asociado al Cambio Climático ni al ENSO.
Cabe resaltar que uno de los índices calculados por el programa, RX1day, es la variable estudiada a lo largo de este trabajo y el *p-value* correspondiente, que resultó no significativo, soporta los resultados obtenidos por el SertempAl, de que no hay evidencias de cambios como para tratarlo como una serie temporal.
En la Tabla V se muestran los resultados obtenidos para Bahia Blanca y El Palomar ya que los índices de Ezeiza y Aeroparque no pudieron ser calculados por el programa.

CÓDIGO	Definición	Unidades
PRCPTOT	Precipitación Anual Total	mm
CDD	Cantidad Máxima de días secos consecutivos	días
CWD	Cantidad Máxima de días húmedos consecutivos	días
R10 mm	Cantidad de días anuales con precipitación diaria mayor a 10mm	días
R95p	Precipitación total anual cuando la precipitación diaria es mayor al percentil 95 de 196190	mm
RX1day	Máximo anual de precipitación diaria	mm

Tabla IV Definición de los Índices utilizados. Se considera un día húmedo a todo aquel con precipitación < 1mm

Estación	PRCPTOT	p–val	CDD	p–val	CWD	p–val	R10 mm	p–val	R95p	p–val	RX1day	p–val
Bahia Blanca	-1.1666	0.1789	-0.2037	0.6294	-0.0018	1	-0.0873	0.3301	-1.5281	0.2751	0.3670	0.1023
El Palomar	-1.8141	0.8577	-0.2128	0.0643	-0.0159	0.8326	-0.0877	0.9023	-2.0620	0.6754	0.2691	0.3104

Tabla V Tendencias de los índices calculados con el programa RClimdex con sus respectivas significancias o p-values

CONCLUSIONES

Si bien diversos estudios realizados muestran un cambio general en los patrones de precipitaciones que han sido asociados al cambio climático y al fenómeno del ENSO, los índices estudiados no mostraron tendencias estadísticamente significativas, por lo que se pudo establecer que los eventos de precipitaciones extremas no están vinculados a estos fenómenos en la zona de estudio.
Sin embargo, caracterizando el comportamiento de las series se encontró que existe una anomalía en la cola superior de la serie que no pudo ser ajustada ni siquiera cuando se ajustó a una mezcla de distribuciones. Esta anomalía deberían investigarse más en profundidad planteando la hipótesis del cambio en el patrón debido a los distintos tipos de lluvias con una serie de datos más extensa o analizando el comportamiento de la intensidad de lluvias asociada a estos valores extremos.
También hay que resaltar que no existe una distribución que resulte la adecuada en todos los casos. Si bien el ajuste que surge de la mezcla de dos distribuciones EVI permitió en general un mejor ajuste, se tendría que plantear en cada caso particular si justifica el hecho de que tienen que ajustarse 2 o 3 parámetros más dependiendo si lo comparamos con el ajuste de una distribución de GEV o EVI.

AGRADECIMIENTOS

Al Servicio Meteorológico Nacional por proveer los datos utilizados para realizar este análisis.

REFERENCIAS

AKAIKE, H. 1976. An information criterion (AIC). *Math. Sci.* **14**(153), pp.5-9.

BOX, G., G. JENKINS, and G. REINSEL. 1993. *Time Series Analysis, Forecasting, and Control*. Prentice Hall, Englewood Cliffs.

CAMILLONI, I. and V. BARROS. 2000. The Paraná River response to El Niño 1982–83 and 1997–98 events. *J. Hydrometeor.* **1**, pp.412-430.

COLES, S., PERICCHI, L. R., and SISSON, S. 2003. A Fully Probabilistic Approach to Extreme Rainfall Modeling. *Journal of Hydrology*. **213**(14), pp.35-50.

DA SILVA TEIXEIRA, M. and P. SATYAMURTY. 2011. Trends in the Frequency of Intense Precipitation Events in Southern and Southeastern Brazil during 1960-2004. *Journal of Climate*. **24**(1913-1921).

ESCALANTE–SANDOVAL, C. 2007. A Mixed distribution with EV1 and GEV components for analyzing heterogeneous samples. *Ingeniería. Investigación y Tecnología VIII*. **3**, pp.123–133.

FRÉCHET, M. 1927. Sur la loi de probabilité de l'écart maximum. *Ann. de la Soc. Polonaise de Math., Cracow*. **6**, pp.93–117.

GILLELAND, E. and R. W. KATZ. 2011. New software to analyze how extremes change over time. *Eos.* **92**(2), pp.13-14.

GRIMM, A., R. TEDESCHI, and V. CASELLES. 2009. ENSO and Extreme Rainfall Events in South America. *Journal of Climate*. **22**, pp.1589–1609.

GUMBEL, E. J. 1958. *Statistics of Extremes*. Columbia University Press, New York, USA.

HAYLOCK, M. R., T. PETERSON, J. R. ABREU DE SOUSA et al. 2006. Trends in Total and Extreme South American Rainfall in 1960-2000 and Links with Sea Surface Temperature. *Journal of Climate*. **19**, pp.1490–1512.

JENKINSON, A.F. 1955. The frequency distribution of the annual maximum (or minimum) values of meteorological elements. *Quarterly Journal of the Royal Meteorology Society*. **87**, pp.145–158.

KOUTSOYIANNIS, D. 2004. Statistics of extremes and estimation of extreme rainfall: I. Theoretical investigation. *Hydrological Sciences-Journal-des Sciences Hydrologiques*. **49**(4), pp.575–590.

MERMOZ, O. and R. GARCÍA. 2006. *Distribuciones Univariantes de Probabilidad. Modelos y su identificación*. Nueva Librería.

MONCHO, R., F. BELDA, and V. CASELLES. 2011. Distribución Probabilística de los extremos globales de precipitación. *Nimbus*. **27-28**, pp.119–135.

RIZWAN, M. and T. KIM. 2013. Application of a Mixed Gumbel Dis- tribution to Construct Depth–Duration–Frecuency (DDF) Curves Considering Outlier Effect in Hydrology Data. *Journal of Environmental Science, Toxicology and Food Toxicology*. **6**(2), pp.54-60.

SCHWARZ, G. 1978. Estimating the dimension of a model. *Ann. Stat.* **6**, pp.461-464.

SÁEZ CASTILLO, A. J. 2009. *Modelización estocástica de precipitaciones máximas para el cálculo de eventos extremos a partir de los períodos de retorno mediante R*. Departamento de Estadística e Investigación Operativa, Universidad de Jaén.

SUAREZ BUENROSTRO, N. 2011. *Caracterización de los eventos extremos de precipitación, empleando distribuciones mezcladas*. Tesis de Magister en Recursos Hídricos y Ambiental. Facultad de Ingeniería. Universidad Autónoma de Querétaro.

WEIBULL, W. 1951. A statistical distribution function of wide applicability. *J. Appl. Mech.-Trans. ASME*. **18**(3), pp.293–297.

WILLEMS, P. 2013. Adjustment of extreme rainfall statistics accounting for multidecadal climate oscillations. *Journal of Hydrology*. **490**, pp.126-133.

ZHANG, X., L. ALEXANDER, G. HEGERI et al. 2011. Indices for mon- itoring changes in extremes based on daily temperature and precipitation data. *WIREs Climate Change*. **2**, pp.851-870.

DISTRIBUCIÓN DE Zn, Mn, Sr Y U, EN HELIANTHUS ANNUUS EN ASOCIACIÓN MICORRÍCICA CON RHIZOPHAGUS INTRARADICES

Drajlin Gordón D. S.[a] *y Scotti A.*[a,b]

[a]*Facultad de Ciencias Exactas y Naturales,Universidad Nacional de Cuyo, ARGENTINA*
[b]*International Center for Earth Sciences (ICES),Comisión Nacional de Energía Atómica*

e-mail: dsdrajlin@yahoo.com.ar

RESUMEN

La presencia de altas concentraciones de metales pesados en el suelo, tanto de origen natural como antrópico, supone un escollo para la agricultura ya que inutilizan vastas extensiones de tierra. Las técnicas tradicionales para subsanar este inconveniente, suelen ser costosas y poco efectivas. En las últimas décadas ha tenido gran impulso la biorremediación, es decir, el uso de agentes biológicos para la descontaminación de las tierras. En particular, la fitorremediación, hace uso de la capacidad natural de las plantas para captar elementos del suelo. Esta puede mejorarse con el uso de una simbiosis micorrícica natural.

En este trabajo se usa un comprobado sistema de bioremediación, la asociación Helianthus annuus-Rhizophagus intraradices. Se evaluó en un sustrato adicionado con cenizas volcánicas con cantidades altas y conocidas de Zn, Mn, Sr y cantidades conocidas de U. Se estudia la distribución de estos elementos en los órganos de las plantas: flor, raíz, tallo y hoja. Asimismo, se adiciona el sustrato con distintas concentraciones de zinc, para apreciar el efecto de este metal sobre la fitoextracción de todos.

INTRODUCCIÓN

Los elementos contaminantes en los suelos difieren en su movilidad relativa. Esta característica les permite estar disponibles en el suelo o lixiviarse del perfil hacia las aguas subterráneas. Difieren en cuanto a su origen: natural, como el desgaste de cerros o la acumulación de cenizas volcánicas, que aportan gran cantidad de metales pesados al suelo (Pineda R., 2004); o antrópico, como infiltraciones de residuos mineros, que tendrán un comportamiento diferente dependiendo de su intercambio con los horizontes del suelo, su pH, su potencial de oxidación y su contenido de materia orgánica y sulfuros.

Algunos de estos compuestos son más susceptibles a ser fitodisponibles que otros (Kabata Pendias A., 2000). Algunos metales pesados actúan como elementos traza ya que son esenciales para mantener el metabolismo en los seres vivos y en particular en el cuerpo humano (Mahler R., 2003; Prieto Méndez J. et al, 2009). Sin embargo, en concentraciones más altas pueden conducir al envenenamiento (Kabata Pendias A., 2000). Los metales se comportan de formas muy diferentes en cuanto a su importancia biológica y su toxicidad. Elementos como Ce, Sn, Ga, Th y Zr no tienen función biológica conocida. Fe, Mn y Mo son importantes elementos traza y presentan una baja toxicidad. Co, Cu, Cr, Ni, W, V y U son altamente tóxicos con limitada función biológica (Nessner Kavamura V. et al, 2010).

A diferencia de las sustancias orgánicas, los metales pesados son esencialmente no biodegradables y por lo tanto se acumulan en el ambiente. La acumulación de metales en suelos y agua impone un riesgo ambiental y a la salud humana. Estos elementos se acumulan en los tejidos de organismos vivos (bioacumulación) y sus concentraciones se incrementan a medida que pasan de niveles tróficos más bajos a niveles tróficos más altos (biomagnificación) (Ali H. et al, 2013).

El Zn es un metal que se lo encuentra habitualmente alcanzando niveles tóxicos en el ambiente, debido a la extensiva aplicación de fertilizantes, actividades mineras y de fundición, galvanizado y vulcanizado de caucho (Andrade S. et al, 2010; Audet P. et al, 2010). Sin embargo, el Zn en concentraciones traza, es un elemento de transición esencial para el desarrollo normal de las plantas. Como micronutriente vegetal, juega un rol estructural en proteínas, actúa como cofactor enzimático y toma parte en reacciones celulares de reducción/oxidación, regulando importantes procesos metabólicos. De todos modos, el exceso de Zn puede causar fitotoxicidad por interferencia en la fotosíntesis y en otros procesos metabólicos, resultando en un crecimiento retardado y desbalances nutricionales debido a complejas interacciones con otros nutrientes (Andrade S. et al, 2010).

Las fuentes más importantes de metales pesados son la actividad industrial, minería, aguas contaminadas y lodos de empresas depuradoras (Miransari M., 2011). En el suelo, los metales pueden estar presentes como libres o disponibles, compuestos de sales metálicas solubles, o bien, compuestos insolubles o parcialmente solubles como óxidos, carbonatos e hidróxidos (Pineda R., 2004). La amenaza de los metales pesados es mayor que aquella de compuestos tóxicos orgánicos, especialmente en el largo plazo, ya que no pueden ser degradados y su remoción del ambiente se hace dificultosa (Hassan Z. et al, 2011).

Una consecuencia muy común del envenenamiento por metales pesados es la producción aumentada de especies reactivas del oxígeno (ROS) debido a su interferencia con la cadena de transporte de electrones, especialmente en las membranas del cloroplasto. El incremento de ROS expone las células a estrés oxidativo, lo que conduce a peroxidación lipídica, deterioro de macromoléculas, desmantelamiento de la membrana, fuga de iones y escisión de hebras de ADN (Rascio N. et al, 2011).

La remediación de suelos contaminados se ha concentrado en el uso de métodos relacionados a la ingeniería. Muchos de los métodos, como la excavación, pueden resultar caros, y las técnicas de contención, como el tapado, no remueven de hecho los contaminantes del suelo (Leung H. et al, 2013). Se han aplicado en los últimos años métodos biológicos de remediación, que han probado ser más eficientes y económicos (Miransari M., 2011). La revegetación se ha vuelto entonces el medio más efectivo para restaurar terrenos degradados, superando condiciones fisicoquímicas adversas. Esto es debido a la recuperación de procesos microbianos estables y la semejanza a las condiciones naturales del suelo (Leung H. et al, 2013).

Existen plantas llamadas hiperacumuladoras, que son capaces de absorber grandes cantidades de metales pesados, mientras que su crecimiento no es afectado (Miransari M., 2011). Inicialmente, el término hiperacumulador se aplicaba a plantas capaces de acumular más de 1 mg/g de Ni en masa seca de parte aérea. Nuevos valores umbrales han sido suministrados para definir la hiperacumulación de metales pesados, basado en su fitotoxicidad específica. De acuerdo a este criterio, los hiperacumuladores son aquellos que cuando crecen en suelos nativos, concentran: más de 10 mg/g (1%) de Mn o Zn; más de 1 mg/g (0,1%) de As, Co, Cr, Cu, Ni, Pb, Sb, Se, Tl; y más de 0,1 mg/g

(0,01%) de Cd en los órganos aéreos, sin sufrir en ningún caso daño fitotóxico (Rascio N. et al, 2011). Las plantas acumuladoras son capaces de absorber entre 100 a 1000 veces más metales que las plantas no acumuladoras. Las especies hiperacumuladoras han sido identificadas en por lo menos 45 familias de plantas y especies individuales son capaces de absorber diferentes metales tales como As, Cd, Co, Cu, Ni, Se y Zn o combinaciones particulares de dichos metales (Leung H. et al, 2013).

La fitoremediación de suelos contaminados es una técnica con grandes posibilidades, que utiliza estas especies vegetales tolerantes a altos niveles de metales pesados en suelo y agua, y permite realizar actividades de restauración con un menor impacto ambiental sobre terrenos degradados o contaminados, en comparación con el uso de otras técnicas tradicionales, más invasivas y que producen efectos secundarios adversos (Robinson B. et al, 1997). Diversos trabajos señalan al girasol (Helianthus annuus) como una planta hiperacumuladora de sustancias tóxicas y metales como Cd, Cr, Se, Al, Zn, Pb y U (Davies F. et al, 2002; Dushenkov S., 2003; Kastori P. et al, 1996; Saber N. et al, 1999; Turgut C. et al, 2004; Ximenez-Embun P. et al, 2004; Zornoza P. et al, 1999).

Como estrategia de biorremediación en suelos, se ha planteado el uso de la simbiosis micorrícica arbuscular como una buena herramienta para tal propósito (Gildon A. et al, 1983). Los hongos formadores de micorrizas arbusculares (AMF) son un grupo de microorganismos importantes en el suelo y en la rizósfera, y se encuentran en la mayoría de los ecosistemas terrestres, incluyendo aquellas áreas contaminadas. Los AMF crecen dentro de las raíces de las plantas y se los considera una extensión de los mismos por el gran volumen de suelo que exploran a través de su red hifal extra-radical. Entre otros beneficios, los AMF contribuyen en la nutrición de la planta hospedante al incrementar la captación de macronutrientes (principalmente P y N) y micronutrientes, como Cu y Zn. Los metales pesados también pueden ser captados por las hifas del AMF, y ser transportados a la planta vía micelio. Por lo tanto, las plantas micorrizadas pueden aumentar la entrada de metales pesados (fitoextracción).

La fitoextracción es la captación de contaminantes desde suelo o agua por las raíces, y su translocación y acumulación en tejidos aéreos. La translocación de los metales es un proceso bioquímico crucial y es deseable para que la fitoextracción sea efectiva, porque la cosecha de biomasa radicular no es generalmente factible (Ali H. et al, 2013).

Los AMF también puede contribuir a la inmovilización de compuestos contaminantes por la producción de abundante micelio extra-radical (fitoestabilización), incluso bajo condiciones severas (Leung H. et al, 2013).

A pesar de la importancia funcional de la red de micelio extra-radical, existen pocos estudios sobre el efecto de metales tóxicos sobre dichas estructuras. En un estudio previo, se analizó el efecto in vitro de Cd, Pb y Zn sobre 2 especies de AMF en etapas previas y posteriores al establecimiento de la simbiosis micorrícica, observando un efecto inhibitorio en la expansión del micelio extra-radical en medios enriquecidos con tales metales (Pawloska T. et al, 2004). En estudios realizados con Ni en plántulas de girasol (Ker K. et al, 2010) se investigó el papel de la simbiosis AM establecida con Rhizophagus intraradices como estrategia de fitoremediación, debido al aumento en la captación y la tolerancia de las plantas micorrizadas en presencia de Ni. Los mecanismos involucrados en la captación y tolerancia a Ni aún son poco conocidos. El Ni se almacena en las vacuolas o es transportado a través del citoplasma formando complejos con ácidos orgánicos (como malato y citrato) o aminoácidos (como histidina y glutamina) (Bhatia N. et al, 2005; Kramer U. et al, 2000; Saber N. et al, 1999). Estos

autores encontraron incrementos en el contenido de malato y citrato en plántulas de girasol luego 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 lenta tasa de crecimiento y una baja biomasa (Baker A. et al, 1997; Cunningham S. et al, 1995; Reeves R., 2003;). Por lo tanto, especies de gran biomasa vegetal, como el tabaco o el girasol, pueden ser buenos candidatos para los fines de fitoremediación (Audet P. et al, 2006; Robinson B. et al, 1997). Con girasol se realizaron pruebas piloto de fitoremediación en Chernobyl, Ohio y Fukushima para la captación de U.
En este último caso, se buscó contrarrestar el avance de la contaminación nuclear sembrando semillas de girasol, mostaza de campo, amaranto y cresta de gallo, principalmente en plazas y lugares aledaños a la central nuclear. La zona de Malargüe, en Mendoza (Argentina), se ha visto afectada en reiteradas ocasiones por la presencia de cenizas originadas en erupciones volcánicas, las cuales inutilizan vastas extensiones que podrían ocuparse para la actividad agropecuaria. En las últimas erupciones del volcán Peteroa (septiembre de 2010 a mayo de 2011) se caracterizaron las cenizas caídas, encontrándose importantes cantidades de Zn, Mn y Sr, así como también la presencia de U.

DESARROLLO EXPERIMENTAL

Planteo del Problema

El presente trabajo propone la utilización de plantas de girasol (H. annuus) inoculadas con Rhizophagus intraradices para aumentar la captación de Zn, Mn, Sr y U. Se evalúa el efecto del zinc, trabajando a distintas concentraciones en el suelo. Asimismo, se propone establecer cuantitativamente la eficiencia de la simbiosis H. annuus-R. intraradices en la fitoremediación, considerando la bioacumulación.

Desarrollo del trabajo

Se realizó un experimento de siembra de girasol en macetas preparadas con sustrato conteniendo cenizas volcánicas y tierra estéril, a los que se les suplementó con cuatro concentraciones diferentes de Zn en forma de ZnSO4: 90 ppm, 170 ppm, 250 ppm y 600 ppm. En las macetas había 1 gramo del inóculo Rhizophagus intraradices obtenidos del Banco de Glomeromicota in vivo (BGIV) (http://www.bgiv.com.ar/strains/glomus-intraradices/ga5). El ensayo se dio por finalizado a las 12 semanas.

Análisis químicos

Se realizó sobre una muestra vegetal una hidrólisis por vía húmeda con mezcla ácida (ácido perclórico-ácido nítrico). Zn, Mn y Sr fueron determinados por absorción atómica en un equipo Perkin Elmer Analyst (límite de detección 0,05 mg/L). U fue determinado por fluorescencia laser en un equipo Scintrex UA-3 (límite de detección 0,2 µg/L).

Análisis de Datos

Se realizaron análisis de varianza de una vía (ANOVA). Comparaciones de las medias fueron hechas usando el Test de Tukey con un nivel de significancia de 5%.

RESULTADOS

Las Figuras 1 a 16 muestran la distribución de Zn, Mn, Sr y U, para diferentes concentraciones de Zn en el sustrato, en diferentes órganos de la planta.

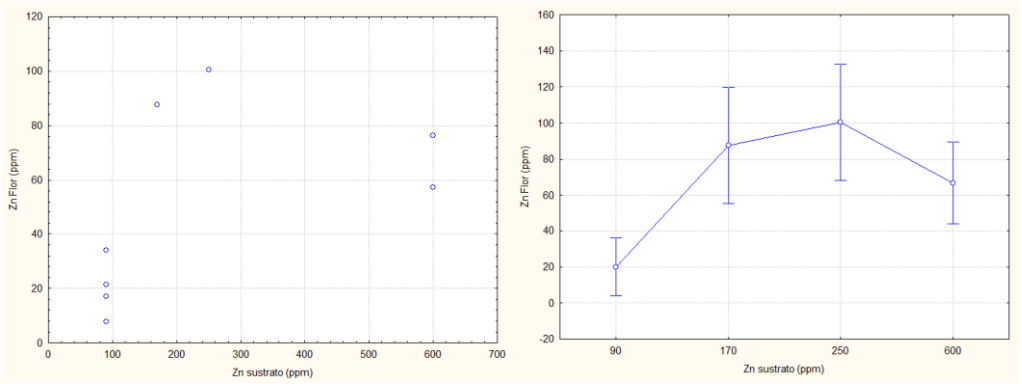


Fig. 1. a) Concentración de Zn en la flor a distintas concentraciones de Zn sustrato. b) Test de Tukey.

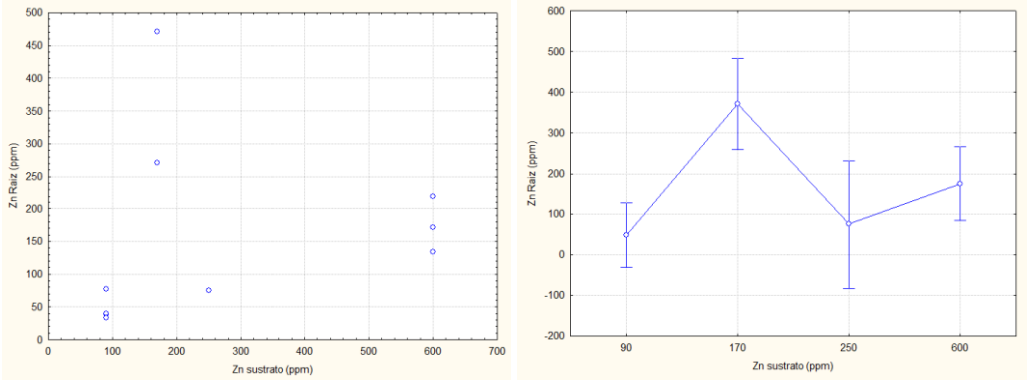


Fig. 2. a) Concentración de Zn en la raíz a distintas concentraciones de Zn sustrato. b) Test de Tukey.

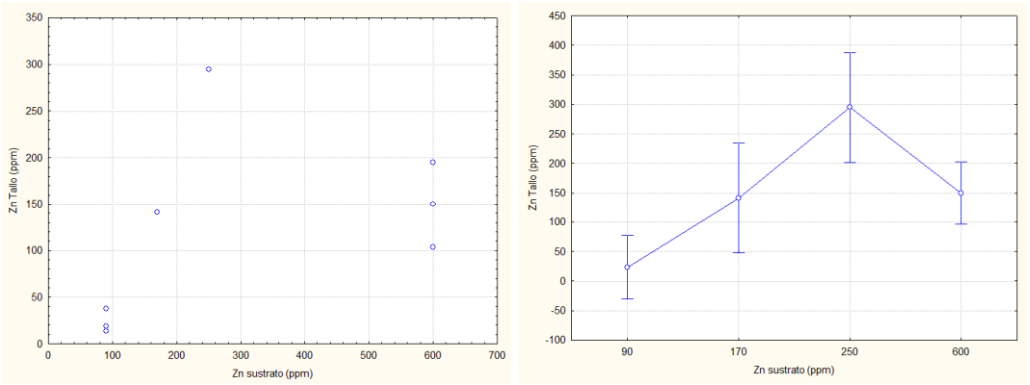


Fig. 3. a) Concentración de Zn en el tallo a distintas concentraciones de Zn sustrato. b) Test de Tukey.

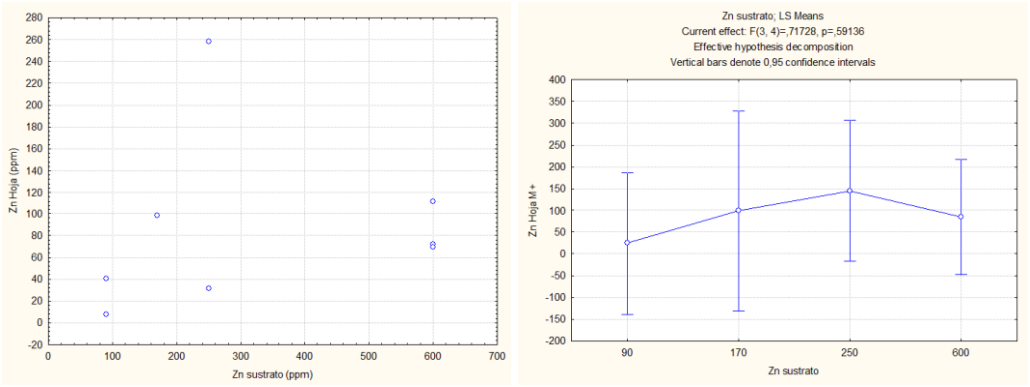


Fig. 4. a) Concentración de Zn en hoja a distintas concentraciones de Zn sustrato. b) Test de Tukey.

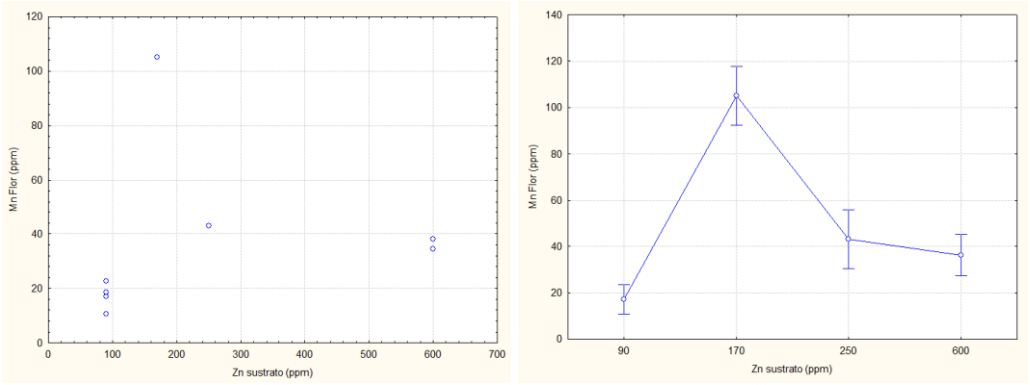


Fig. 5. a) Concentración de Mn en flor a distintas concentraciones de Zn sustrato. b) Test de Tukey.

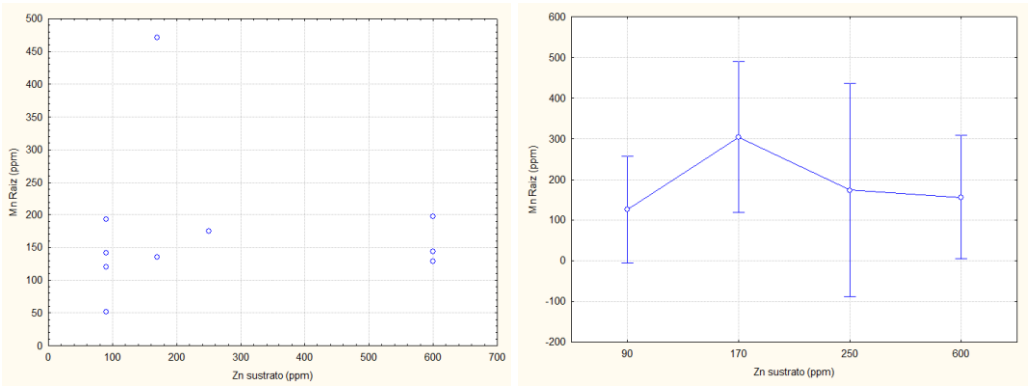


Fig. 6. a) Concentración de Mn en raíz a distintas concentraciones de Zn sustrato. b) Test de Tukey.

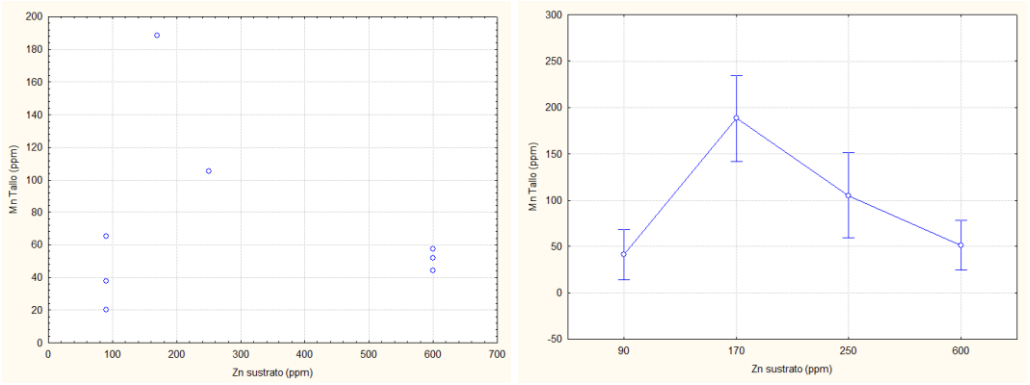


Fig. 7. a) Concentración de Mn en tallo a distintas concentraciones de Zn sustrato. b) Test de Tukey.

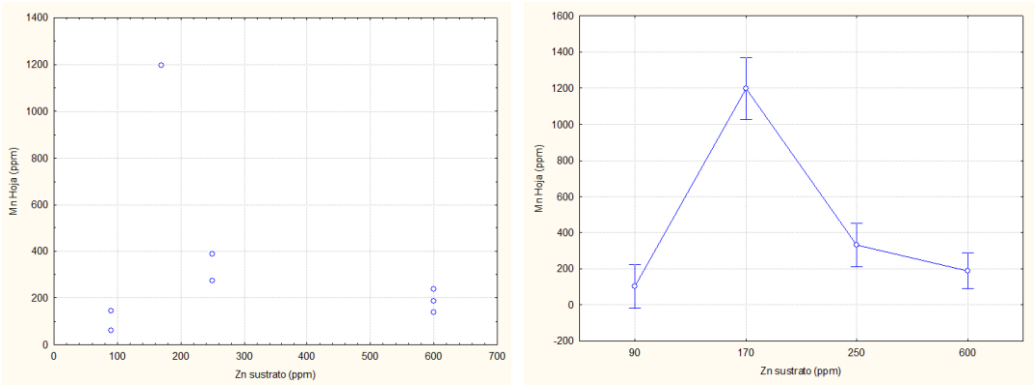


Fig. 8. a) Concentración de Mn en hoja a distintas concentraciones de Zn sustrato. b) Test de Tukey.

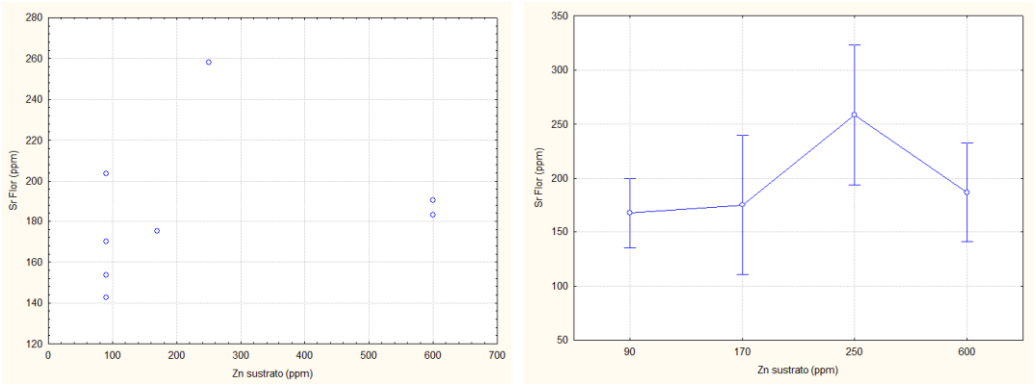


Fig. 9. a) Concentración de Sr en flor a distintas concentraciones de Zn sustrato. b) Test de Tukey.

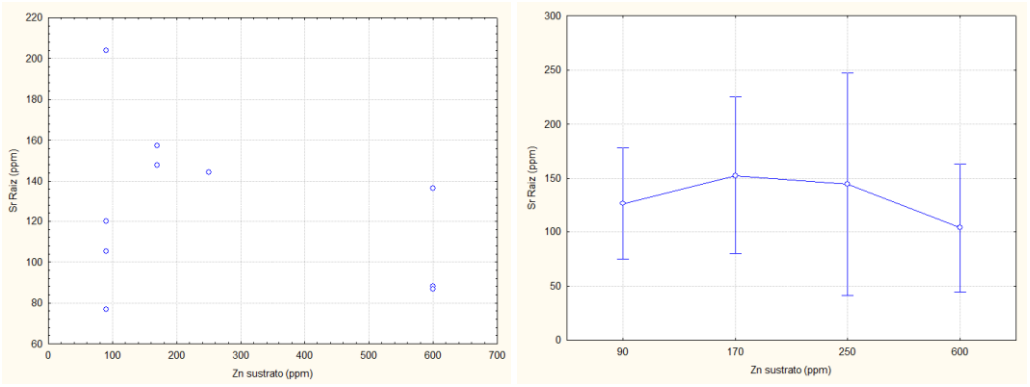


Fig. 10. a) Concentración de Sr en raíz a distintas concentraciones de Zn sustrato. b) Test de Tukey.

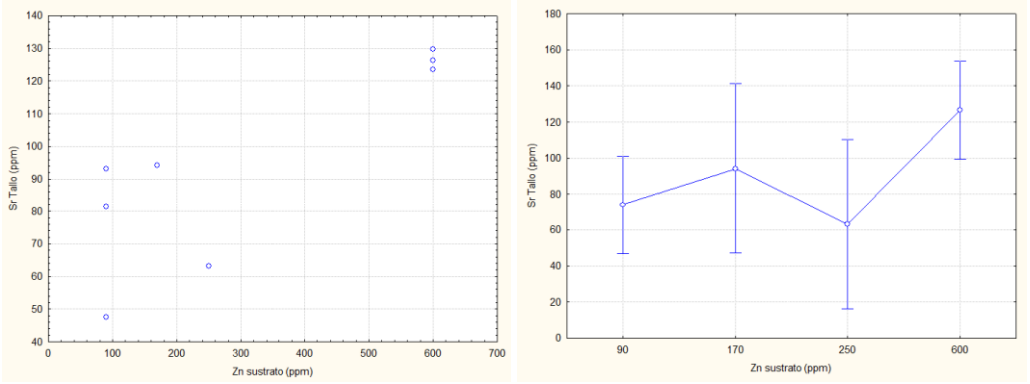


Fig. 11. a) Concentración de Sr en tallo a distintas concentraciones de Zn sustrato. b) Test de Tukey.

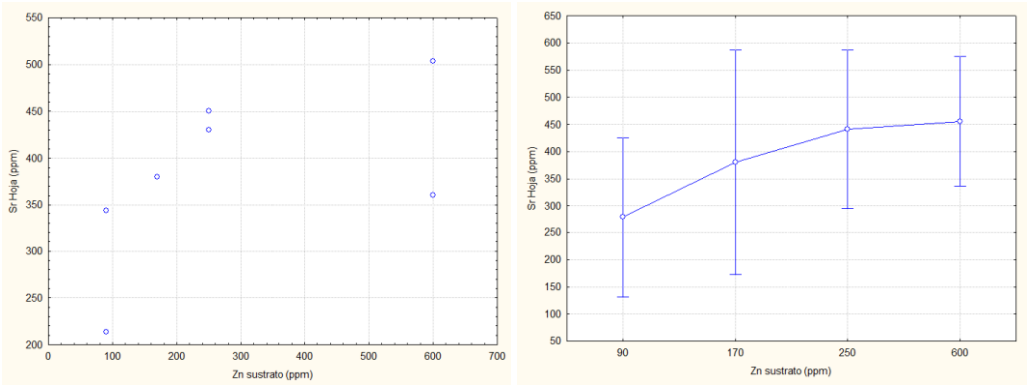


Fig. 12. a) Concentración de Sr en hoja a distintas concentraciones de Zn sustrato. b) Test de Tukey.

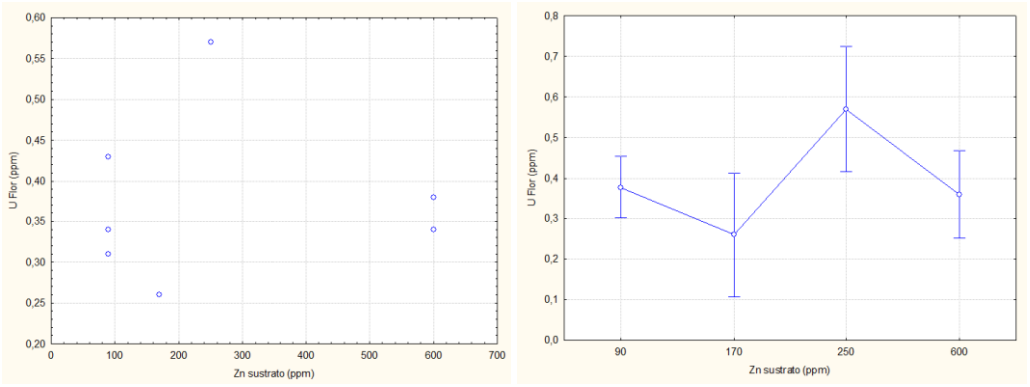


Fig. 13. a) Concentración de U en flor a distintas concentraciones de Zn sustrato. b) Test de Tukey.

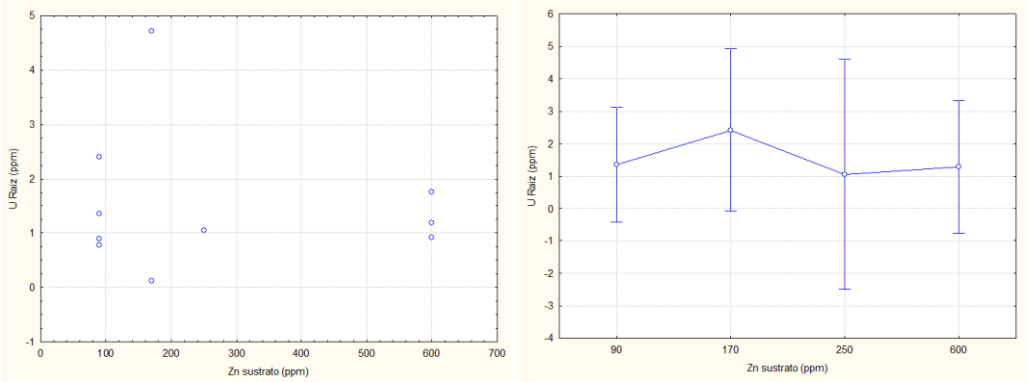


Fig. 14. a) Concentración de U en raíz a distintas concentraciones de Zn sustrato. b) Test de Tukey.

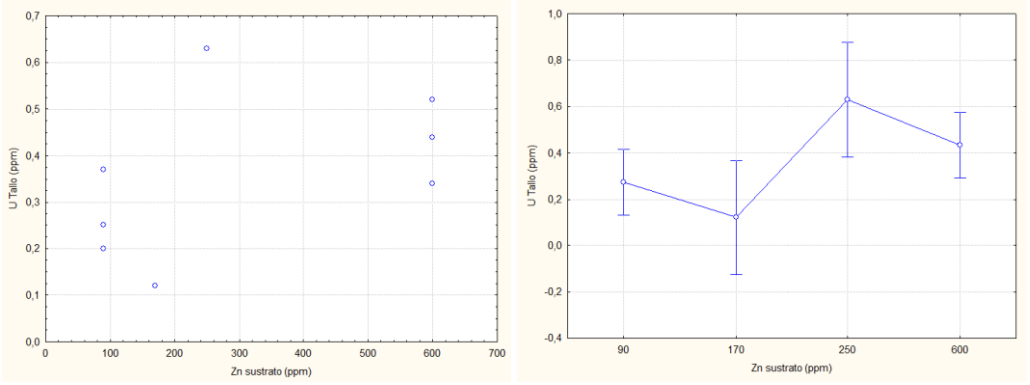


Fig. 15. a) Concentración de U en tallo a distintas concentraciones de Zn sustrato. b) Test de Tukey.

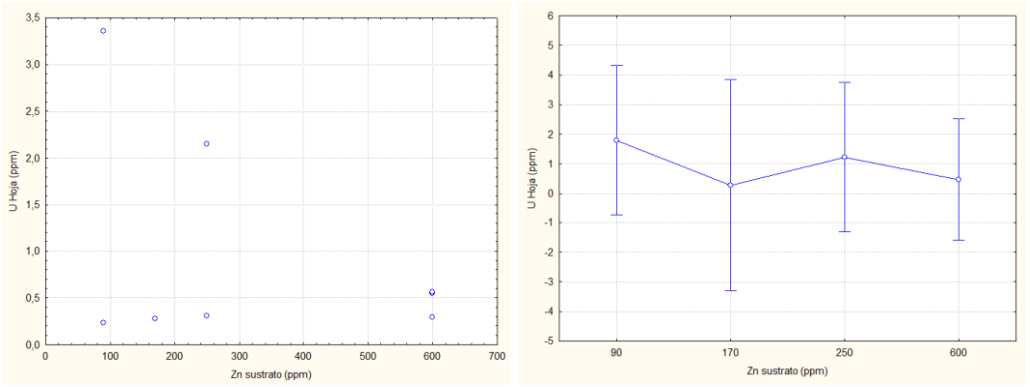


Fig. 16. a) Concentración de U en hoja a distintas concentraciones de Zn sustrato. b) Test de Tukey.

Las Tablas I, II, III y IV muestran la distribución de Zn, Mn, Sr y U en distintos órganos de la planta, a diferentes concentraciones de Zn en el sustrato.

Tabla I. Distribución de Zn en diferentes órganos de la planta.

Zn	Zn sustrato (ppm)			
	90	**170**	**250**	**600**
Flor	17,44%	12,53%	16,33%	14,03%
Raíz	41,22%	53,15%	12,15%	36,80%
Tallo	20,26%	20,22%	47,96%	31,44%
Hoja	21,08%	14,10%	23,56%	17,73%

Tabla II. Distribución de Mn en diferentes órganos de la planta.

Mn	Zn sustrato (ppm)			
	90	**170**	**250**	**600**
Flor	6,00%	5,84%	6,59%	32,52%
Raíz	43,87%	17,21%	26,71%	26,71%
Tallo	14,28%	10,47%	16,14%	8,73%
Hoja	35,85%	66,48%	50,56%	32,05%

Tabla III. Distribución de Sr en diferentes órganos de la planta.

Sr	Zn sustrato (ppm)			
	90	**170**	**250**	**600**
Flor	25,91%	21,85%	28,49%	21,41%
Raíz	19,57%	19,02%	15,94%	11,88%
Tallo	11,45%	11,75%	6,97%	14,49%
Hoja	43,08%	47,38%	48,61%	52,22%

Tabla IV. Distribución de U en diferentes órganos de la planta.

U	Zn sustrato (ppm)			
	90	**170**	**250**	**600**
Flor	10,00%	8,44%	16,38%	14,17%
Raíz	35,53%	78,57%	30,17%	50,39%
Tallo	7,11%	3,90%	18,10%	16,93%
Hoja	47,37%	9,09%	35,34%	18,50%

DISCUSIÓN

Comparando las Fig. 1-4, con las Fig. 5-8, se puede ver un patrón similar en las concentraciones de Zn y Mn, sugiriendo, *prima facie*, que la captación de Zn y de Mn están de alguna manera relacionadas. El mecanismo por el que ocurre esta sinergia, no

se conoce completamente, al menos hasta el mayor de nuestros conocimientos. Sin embargo, algunos trabajos sugieren que puede implicar la presencia de transportadores comunes a ambos. Para el caso del Sr (ver Fig. 9-12) y del U (ver Fig. 13-16), no se observan diferencias estadísticamente significativas entre la concentración del elemento y la concentración de Zn en el sustrato.

La Tabla I demuestra que el Zn tiende a acumularse en la parte radicular de la planta, para la mayoría de los tratamientos. En cambio, Mn y Sr (ver Tablas II y III), tienden a acumularse en la parte aérea, principalmente en la hoja. Para el U (ver Tabla IV), no se puede observar un contenido predecible en cuanto a su distribución en los órganos de la planta. Suele ocupar mayoritariamente hoja y/o raíz, independientemente del aumento de la concentración de Zn en el sustrato.

CONCLUSIONES

El sistema biorremediador H. annuus-R. intraradices ha demostrado ser efectivo en la extracción de metales en el suelo. Para cada metal se puede adicionar el sustrato con una cantidad conocida de Zn, a fin de optimizar la extracción de determinados elementos, e influir sobre la distribución organular de los mismos. Se ha visto en particular que el aumento hasta cierto punto del Zn, correlaciona positivamente sobre la bioacumulación de Mn. Además, resulta extremadamente beneficioso para la fitorremediación, los altos valores de translocación desde la raíz hacia la parte aérea, dado que la remoción de la biomasa radicular, generalmente no es factible (Ali H. et al, 2013).
Si bien no en todos los casos se puede justificar desde un punto de vista estrictamente estadístico, se observa una tendencia general a que los elementos aumenten hasta cierto valor en la planta, y luego comiencen a disminuir. Esto se atribuye al rol dual en la adquisición de metales de la simbiosis micorrícica arbuscular: primero aumentando la captación de nutrientes a bajos niveles de exposición a metales, y luego, disminuyéndola a altas concentraciones de metales, previniendo la fitotoxicidad por estrés oxidativo (Audet P. et al, 2010).

REFERENCIAS

Ali H., Khan E. and Sajad M. A., 2013. Phytoremediation of heavy metals – Concepts and applications. *Chemosphere*, **91**, 869-881.

Andrade S.A.L., Silveira A.P.D. and Mazzafera P., 2010. Arbuscular mycorrhyza alters metal uptake and the physiological response of Coffea Arabica seedlings to increasing Zn and Cu concentrations in soil. *Sci. of the Total Env.*, **408**, 5381-5391.

Audet P. and Charest C., 2010. Determining the impact of the AM-Mycorrhizosphere on "Dwarf" Sunflower Zn uptake and Soil-Zn bioavailability. *J. of Botany*, 1-11.

Audet P. and Charest C., 2006. Effects of AM colonization on "wild tobacco" plants grown in zinc contaminated soil. *Mycorrhiza*, **16**, 277-283.

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.

Bhatia N.P., Walsh K.B. and Baker A.J.M., 2005. Detection and quantification of ligands involved in nickel detoxification in a herbaceous Ni hyperaccumulator Stackhousia tryonii Bailey. *J. of Experimental Botany*, **56**, 1343-1349.

Cunningham S.D. and Lee C.R., 1995. Phytoremediation: plant-based remediation of contaminated soils and sediments. *Bioremediation: Science and Application*, 145-147.

Davies F.T., Puryear J.D., Newton R.J., Egilla J.N. and Saraiva Grossi J.A., 2002. Mycorrhyzal fungi increase chromium uptake by sunflower plants: influence on tissue mineral concentration, growth and gas exchange. *J. of Plant Nutrition*, **25**, 2389-2407.

Dushenkov S., 2003. Trends in phytoremediation of radionuclides. *Plant and Soil*, **249**, 1467-1475.

Gildon A. and 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 Phytology*, **95**, 147-161.

Hassan Z. and Aarts M.G.M, 2011. Oportunities and feasibilities for biotechnological improvement of Zn, Cd or Ni tolerance and accumulation in plants. *Environmental and Experimental Botany*, **72**, 53-63.

Kabata Pendias A. S. and Pendias H, 2000. *Trace elements in soils and plants.* CRC Press, An. Arbor, Michigan.

Kastori P., Petrovic N. and Petrovic M., 1996. Effects of lead on water relations, proline concentration and nitrate reductase activity in sunflower plants. *Acta Agronomics Hungary*, **44**, 21-28.

Ker K. and Charest C., 2010. Nickel remediation by AM colonized sunflower. *Mycorrhiza*, **20**, 399-406.

Kramer U., Pickering I.J., Prince R.C., Raskin I. and Salt D.E., 2000. Subcellular localization and speciation of nickel in hyperaccumulator and non-hyperaccumulator Thlaspi species. *Plant Physiology*, **122**, 1343-1353.

Leung H., Wang Z., Ye Z., Yung K., Peng X. and Cheung K., 2013. Interactions between arbuscular mycorrhizae and plants in phytoremediation of metal-contaminated soils: a review. *Pedosphere*, **23**, 549-563.

Mahler R. L., 2003. *General overview of nutrition for field and container crops.* National Proceeding: Forest and Conservation Nursery Associations.

Miransari M., 2011. Hyperaccumulators, arbuscular mycorrhizal fungi and stress of heavy metals. *Biotechnology Advances*, **29**, 645-653.

Nessner Kavamura V. and Esposito E., 2010. Biotechnological strategies applied to the decontamination of soils polluted with heavy metals. *Biotechnology Advances*, **28**, 61-69.

Pawloska T.E. and Charvat I., 2004. Heavy-metal stress and development patterns of arbuscular mycorrhizal fungi. *Appl. and Environment Microbiology*, **70**, 6643-6649.

Pineda R., 2004. *Presencia de Hongos Micorrícicos Arbusculares y Contribución de Glomus Intraradices en la Absorción y Traslocación de Cinc y Cobre en Girasol (Helianthus Annus L.) Crecido en un Suelo Contaminado con Residuos de Mina.* Tesis para obtener el grado de Doctor en Ciencias. Universidad de Colima, Tecoman, Colima.

Prieto Mendez J., Gonzalez Ramirez C., Roman Gutierrez 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.

Rascio N. and Navari-Izzo F., 2011. Heavy metal hyperaccumulating plants: How and why do they do it? And what makes them so interesting?. *Plant Sci.*, **180**, 169-181.

Reeves R., 2003. Tropical hyperaccumulators of metals and their potential for phytoextraction. *Plant and Soil*, **249**, 57-65.

Robinson B.H., Chiarucci A., Brooks R.R., Petit D., Kirkman J.H. and Gregg P.H., 1997. The nickel hyperaccumulator plant Alyssum bertolonii as a potential agent for phytoremediation and phytomining of nickel. *J. of Geochemical Exploration*, **59**, 75-86.

Saber N.E., Abdel-Moneim A.M. and Barakat S.Y., 1999. Role of organic acids in sunflower tolerance to heavy metals. *Biologic Planta*, **42**, 65-73.

Turgut C., Pepe M.K. and Cutright T.J., 2004. The effect of EDTA and citric acid on phytoremediation of Cd, Cr and Ni from soil using Helianthus annuus. *Environmetal Pollution*, **131**, 147-154.

Ximenez-Embun P., Alonso I., Madrid-Albarran Y. and Camara C., 2004. Establishment of selenium uptake and species distribution in lupine, Indian mustard and sunflower plants. *J. of Agricultural Food Chemistry*, **52**, 832-838.

Zornoza P., Robles S. and Martin N., 1999. Alleviation of nickel toxicity by ammonium supply to sunflower. *Plant Soil*, **208**, 221-226.

CAMBIOS DE LA COMUNIDAD DE LÍQUENES SAXÍCOLAS EN ZONAS DE PRODUCCIÓN HIDROCARBURÍFERA EN EL SUR DE LA PROVINCIA DE MENDOZA

Estigarribia L.[a]*, Rodríguez J. M.* [a]*, Papú O.*[b] *y Estrabou C.*[a]

[a]*Instituto de Investigaciones Biológicas (CONICET-UNC) y Centro de Ecología y Recursos Naturales Renovables (FCEFyN-UNC)*
[b] *ICES-CNEA*

e-mail: lucreciaestigarribia@gmail.com

RESUMEN

Cualquier actividad humana provoca alteraciones en el ambiente. La explotación petrolera no es una excepción. Siendo ésta una actividad cada vez más importante para la matriz energética del país, resulta importante que a la par de ésta se desarrollen los monitoreos necesarios para reducir al mínimo su impacto ambiental. Los sistemas biológicos representan una alternativa rentable para supervisar grandes áreas en períodos de tiempo largos. Los líquenes son reconocidos como bioindicadores. Se utilizan en evaluaciones de impacto ambiental y en la vigilancia de perturbaciones, particularmente las producidas por contaminantes químicos.
El yacimiento petrolero Cerro Fortunoso se encuentra próximo a La Reserva Total La Payunia, un área natural con importantes endemismos y elevado interés biogeográfico. Esta relación espacial permite llevar adelante un estudio para identificar y comparar la estructura y composición de las comunidades de líquenes saxícolas de ambas áreas; y reconocer, a través de los cambios producidos en la comunidad de líquenes saxícolas, un posible indicador del impacto de la actividad petrolera. A partir de muestreo sistemático al azar se seleccionaron roquedales sobre los que se midieron riqueza, frecuencia y cobertura junto con variables de contexto. Con los datos obtenidos, se confeccionaron matrices para la aplicación de análisis multivariados de ordenación. Se identificaron un total de 22 especies liquénicas y se encontraron diferencias entre sitios, no así con el tipo de roca. En base a nuestros resultados, se sugiere que la medición de los parámetros de la comunidad liquénica sea tenida en cuenta en las correspondientes evaluaciones de impacto ambiental.

INTRODUCCIÓN

Cualquier actividad humana provoca alteraciones en el ambiente en el cual se lleva a cabo. La explotación petrolera no es una excepción. Siendo ésta una actividad cada vez más importante para la matriz energética del país, con franca expansión, resulta importante que a la par de ésta se desarrollen los monitoreos necesarios para reducir al mínimo su impacto ambiental. Al respecto de esto, los sistemas biológicos representan una alternativa rentable para supervisar grandes áreas en períodos de tiempo largos.
Los líquenes, sin duda, representan una de las formas más exitosas de la simbiosis en la naturaleza. Sus cuerpos vegetativos (talo) son el resultado de la asociación un hongo heterótrofo (micobionte) generalmente ascomiceto y un socio fotosintético (fotobionte) que puede tratarse de cianobacterias o/y algas verdes unicelulares.

Los líquenes se encuentran en todo el mundo, aprovechando no sólo toda clase micro y macro ambientes naturales, por lo general estables; sino también, en muchos casos se han adaptado a condiciones extremas, incluyendo algunas provocadas por perturbaciones humanas (Nash, 2008).
Sus talos pueden interpretarse como microecosistemas importantes en su funcionamiento interno y en el funcionamiento global (Barreno, 1997), Contribuyen sustancialmente a la biomasa terrestre y dan soporte a una alta biodiversidad de organismos, dando lugar a redes tróficas complejas y aumentando significativamente el flujo de energía y el ciclaje mineral (Nash, 2008)Trabajos en todo el mundo han documentado la relación estrecha entre las comunidades de líquenes y la contaminación del aire, reconociéndolos como muy buenos indicadores ambientales y, especialmente sensibles a los gases de óxidos de nitrógeno y azufre y los contaminantes a base de azufre (p.e. Conti & Secchetti, 2001; Estrabou et al., 2011).
Comprender los patrones de diversidad y distribución de los líquenes es una herramienta para la conservación y manejo, sobre todo en áreas naturales como lo es la Reserva Total La Payunia, donde la glaciación y el intenso volcanismo fueron modificando el relieve, creándose condiciones ecológicas particulares que explicarían el importante número de endemismos que le confieren un elevado interés biogeográfico y como probable centro de especiación (Martínez Carretero, 2006). La presencia de líquenes en la zona es notable y le confiere, además de lo relacionado a su rol ecológico, belleza paisajística.
El yacimiento petrolero Cerro Fortunoso se encuentra próximo a La Reserva Total La Payunia, zona a la que se llega por caminos de complicado acceso y, presume, las medidas ambientales y restricciones que supone la cercanía a la Reserva. Esta relación espacial permite llevar adelante un estudio para identificar y comparar la estructura y composición de las comunidades de líquenes saxícolas de ambas áreas; y reconocer, a través de los cambios producidos en éstas, un posible indicador del impacto de la actividad petrolera.
Hasta el momento no se registran estudios sobre el impacto de la actividad petrolera en la comunidad de líquenes saxícolas ni su posible rol como bioindicador de este disturbio en el país.

DESARROLLO EXPERIMENTAL

Área de estudio:

El distrito volcánico la Payunia, al pie Cordillera de los Andes en el sudeste de la provincia de Mendoza, es una zona volcánica de más de 25.000 km^2 presidida por unos pocos volcanes de grandes dimensiones, compuestos por la alternancia de erupciones explosivas y efusivas, tales como El Nevado, Payún Matrú, Payún Liso y Chachahuén. Sin embargo, la mayor parte del paisaje está modelada por alrededor de 800 conos volcánicos, generalmente monogénicos y algunos agrupados en escudos
Las últimas erupciones se registraron hace menos de diez mil años, siendo la totalidad de las rocas de origen volcánico**,** principalmente rocas basálticas olivínicas. Las numerosas erupciones han formado una cuenca hídrica cerrada, la cual es alimentada por los ríos y arroyos provenientes de la cordillera. Debido a la ausencia de desagüe se

formó la laguna de Llancanelo, cuya superficie depende del caudal de los ríos y arroyos que la alimentan. A la belleza natural de sus paisajes hay que agregar que en su ámbito coexisten numerosas formas volcánicas, producto de diversos estilos eruptivos, con distintas variedades de conos, tipos de lava y depósitos formados por erupciones explosivas.

A través del Decreto 3917/82 se crea la Reserva Total de La Payunia (fauna, flora, material arqueológico y bellezas escénicas). La Reserva Provincial La Payunia se encuentra en el sur de la provincia de Mendoza, en el departamento de Malargüe. Abarca una superficie de 666.000 ha aproximadamente, extendiéndose desde los 36°00' a los 37°11' de latitud Sur y desde los 68°14' a los 69°38' de longitud Oeste. Se ubica a 140 km al este de la cordillera de los Andes, a 500 km al sur de la ciudad capital de Mendoza, y a 100 km en dirección sureste de la ciudad de Malargüe, el centro poblado más cercano.

Es una zona de transición biogeográfica, en la cual convergen las provincias Patagónica, del Monte y Altoandina (Martínez Carretero, 2006). En esta área, se puede indicar la presencia de 20 asociaciones vegetales, pertenecientes a seis clases de vegetación (Martínez Carretero, 2004). Estas unidades incluyen a los matorrales patagónicos y pastizales de la Payunia; los matorrales del Monte; los pastizales psamófilos; las comunidades de suelos salinos y la vegetación saxícola.Al suroeste de la Reserva, se encuentra el bloque de explotación petrolero Cerro Fortunoso, ubicado en la Cuenca Neuquina-Surmendocina, a 85 km al sudeste de la localidad de Malargüe, provincia de Mendoza.

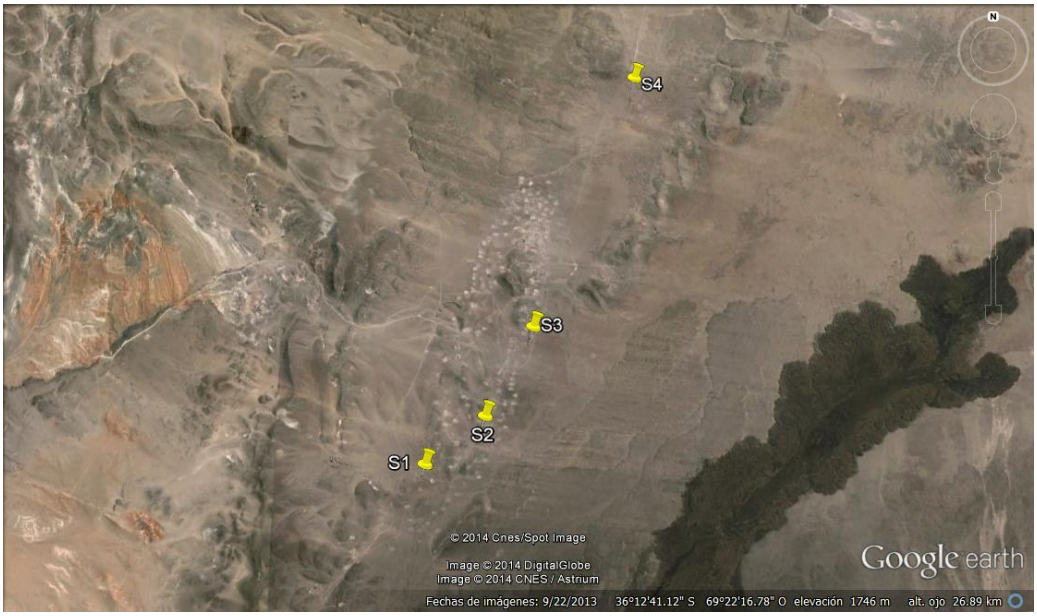
El principal yacimiento de este bloque lo constituye el anticlinal de Cerro Fortunoso, productor de las areniscas fluviales del Grupo Neuquén.

Durante la década del 80’ se exploró ampliamente el sector malargüino de la cuenca, la geología de superficie en Cerro Fortunoso y los “luchadores de subsuelo” en el Valle del Río Grande siguen aportando nuevos descubrimientos: Cº Mollar Oeste, Los Cavaos y Loma Alta (Quiroga, 2012). Este yacimiento actualmente cuenta con alrededor de 200 bocas de pozo.

Metodología

Se trazó una transecta de faja con orientación norte-sur en cuyo recorrido se atravesó longitudinalmente el yacimiento Cerro Fortunoso de 10 km de extensión. (Fig. 1)

Fig. 1: Mapa satelital de la zona bajo estudio que muestra la ubicación de las estaciones de muestreo S1, S2, S3 y S4.



A lo largo de la transecta, se ubicaron cuatro estaciones de muestreo que se corresponden con grandes roquedales grandes. En cada estación se tomó un punto centro y en dirección N se avanzó hasta encontrar la primer roca que cumpla con las siguientes condiciones: orientación sur entre 160º y 220º, inclinación entre 60º y 90º (Rodríguez, datos no publicados) Luego del hallazgo de la primer roca, y tomando como radio la distancia de ésta al punto central, se prosiguió con la búsqueda en círculo y sentido horario, hasta dar con 10 rocas que cumplan con dichos requisitos. Si al finalizar el recorrido del perímetro del círculo no se hallaban las 10 rocas, se regresó al punto central y en dirección N se tomó la próxima roca para volver a comenzar (modificado de Scheidegger et al, 2002).
El registro de la composición y cobertura por especie se realizó mediante una grilla de 20 cm x 20 cm con cuadrados menores de 4 cm para estimar frecuencia, luego de establecer ese tamaño como el más óptimo mediante una curva de acumulación de especies en un muestreo preliminar.
Además, tomando como centro cada roca, se registró en un cuadrado de 2m x 2m, las especies vegetales presentes y su porcentaje de cobertura, porcentaje de suelo desnudo y porcentaje de cobertura rocosa. Otras variables de contexto son distancia al oleoducto más cercano, distancia al depósito de crudo más próximo.
Para la identificación de las especies de líquenes se utilizaron técnicas de rutina que incluyen observación de caracteres morfológicos, anatómicos y químicos.

Se calculó un índice de diversidad alfa y se realizaron análisis de la varianza no paramétricos. Se confeccionaron matrices para la aplicación de análisis de multivariado de ordenación: escalamiento no métrico multidimensional (NMS). Se usaron los softwares Past, Infostat y Pcord5.

RESULTADOS

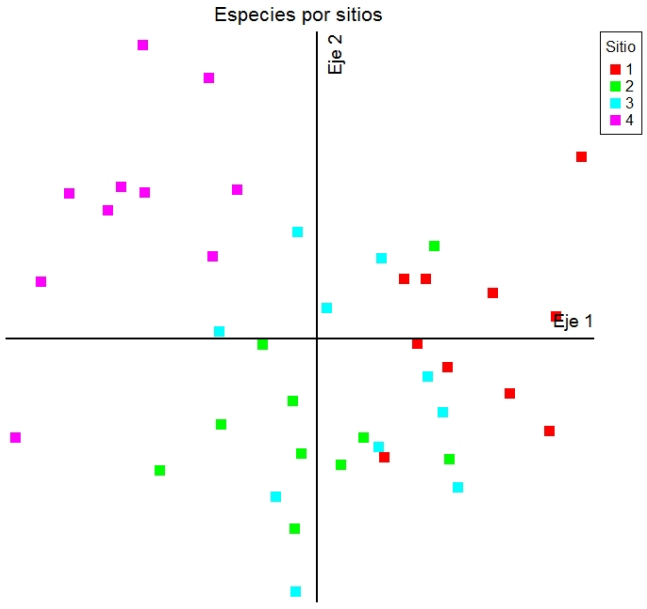
Se identificaron un total de 22 especies liquénicas la mayoría de hábito crustoso, pertenecientes a 13 géneros y una especie de Briophyta en los 4 puntos de muestreo que se sitúan a lo largo de la transecta.

Tabla I: Géneros de Ascolíquenes identificados en los sitios de colección de las estaciones muestreadas en la zona de estudio.

Géneros identificados	Nº de especies por género
Acarospora	4
Buellia	1
Caloplaca	1
Candelariella	1
Flavoparmelia	3
Micarea	1
Paraparmelia	1
Pertusaria	1
Rhizocarpom	1
Rhizoplaca	2
Rinodina	3
Xanthoparmelia	2
Neofuscelia	1

Los resultados del NMS en los primeros dos ejes separa los sitios 1 y 4 (Fig. 2).

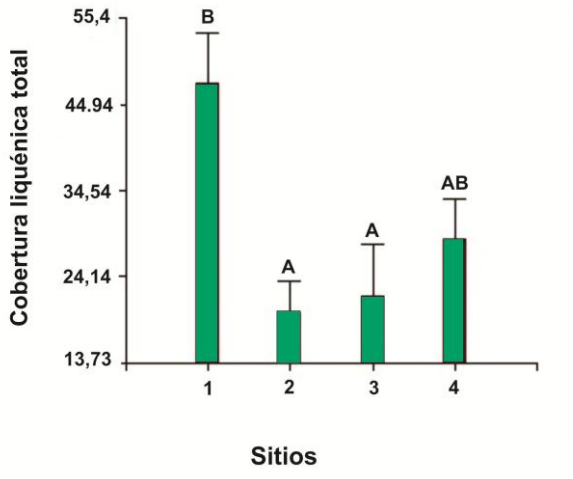
Fig. 2: Primeros 2 ejes del escalamiento no métrico multidimensional. Los puntos se discriminan según el sitio



Tanto los análisis de la varianza no paramétricos como el NMS no mostraron diferencias significativas en la cobertura y composición liquénica respecto al tipo de roca.

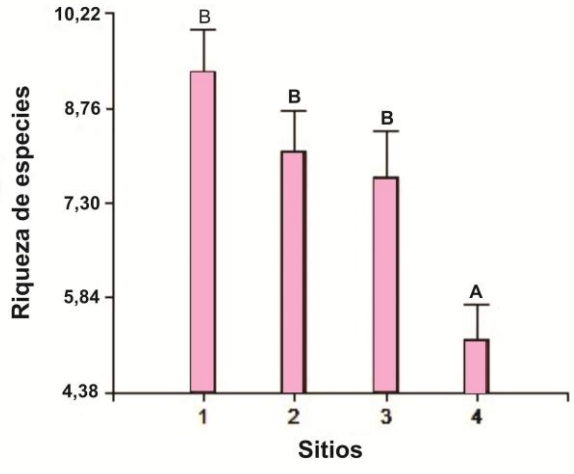
Se encontraron diferencias entre sitios de acuerdo a la cobertura total (Fig. 3), siendo los sitios 2 y 3 no diferentes entre sí, el 4 con características intermedias con respecto al resto y el 1 diferente del 2 y 3.

Fig. 3: Cobertura liquénica total por sitio. Las letras A y B corresponden a sitios con diferencias significativas de acuerdo a Kruskal Wallis $p<0.05$.



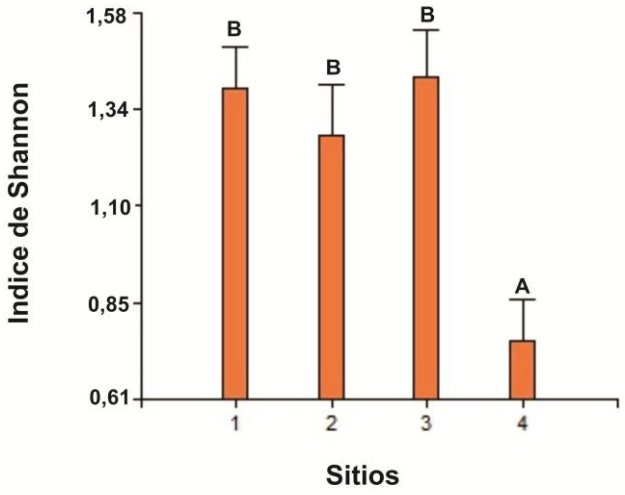
En cuanto a la riqueza de especies (Fig. 4) se encontraron diferencias significativas que separan el sitio 4, de menor valor, del resto de las estaciones.

Fig. 4: Riqueza de especies por sitio. Las letras A y B corresponden a sitios con diferencias significativas de acuerdo a Kruskal Wallis $p<0,05$



Para comparar la diversidad alfa de los sitios se calculó el índice de Shannon (Fig. 5), el cual indica que el valor arrojado para sitio 4 es significativamente diferente de los restantes. A mayor valor de este índice, mayor diversidad del ecosistema local.

Fig. 5: Índice de Shannon por sitio. Las letras A y B corresponden a sitios con diferencias significativas según Kruskal Wallis p<0,05



Según los datos arrojados por la estación meteorológica situada dentro del Yacimiento Cerro Fortunoso, proporcionados por la Seccional de Guardaparques de Malargüe de la Provincia de Mendoza, el viento posee una orientación predominante Oeste. (Tabla II)

Tabla II:

Fecha de inicio de la toma de datos	Intervalo de medición	Datos considerados hasta la fecha	Viento predominante	Cantidad de mediciones realizadas
27/03/2009	Cada treinta minutos	20/10/2013	Oeste	72829

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Gran parte de la sensibilidad de los líquenes a la calidad del aire resulta de no poseer una cutícula protectora, por lo que absorben nutrientes y contaminantes a través de gran parte de su superficie

Las comunidades de líquenes no sólo proporcionan una medida directa de los impactos de la contaminación atmosférica sobre ésta, sino también sugieren posibles impactos de la contaminación atmosférica en los ecosistemas enteros que son difíciles de medir directamente**.**En base a las diferencias encontradas en los resultados se puede señalar al sitio 1 como el que posee mayor cobertura total, mayor riqueza de especies y el segundo valor más alto de diversidad alfa. Esta estación es la que se encuentra situada más al sur del yacimiento y posee en promedio 8 especies por roca. Se encuentra a 7,3 km y 3.9

km de los depósitos combustible y el viento predominante Oeste podría no estar afectándolo directamente mediante el arrastre de los compuestos orgánicos volátiles (VOCs) hasta allí.

El sitio 4, ubicado al noroeste del yacimiento, a una distancia de 5,5 km y 9 km de los depósitos de combustible, en cambio, presenta el menor valor de índice de Shannon y riqueza, con un valor intermedio de cobertura total. La dirección del viento y la consecuente dispersión de los VOCs podrían estar influyendo sobre la comunidad liquénica.
El gas que emerge junto al crudo durante la actividad en el yacimiento se elimina en las instalaciones en tierra mediante el venteo o la quema a la atmósfera. La mezcla de gases (principalmente CO_2 y SH_2) tiene una densidad mayor que la del aire por lo que suele acumularse cercana al lugar de emisión. Así es como, aparte de tener en cuenta la distancia de las estaciones de muestreo a los depósitos de combustible, también se debe considerar que las chimeneas de venteo de la mezcla de gases se encuentran dispersas en toda la extensión del yacimiento.

Este trabajo se continúa con la adición de 4 estaciones muestreadas en la campaña de mayo de 2014 que brindan datos de comunidades situadas dentro y más al norte del yacimiento, las últimas presuntamente con menor influencia de éste.

Un buen complemento de estudios ecológicos como éste, suele ser la toma de datos físico químicos mediante sensores atmosféricos. El problema radica en que el equipamiento necesario para medir la calidad de aire a través de estos procedimientos es costoso de obtener y mantener. Es por ello, que estudiar la composición de las comunidades liquénicas es una alternativa interesante, particularmente las comunidades de líquenes saxícolas ya que poseen una dinámica muy lenta, con tasas de crecimiento muy bajas (Topham 1977, cf Frey 1979). Además, al encontrarse en ambientes de por sí hostiles, pueden desarrollarse sobre el sustrato rocoso por períodos de tiempo extremadamente largos en ausencia de perturbaciones externas (Armesto, 1981). Al tratarse de organismos perennes que pueden permanecer expuestos a efectos nocivos durante períodos de tiempo importantes, proporcionan una imagen de estados crónicos y no de variaciones puntuales del ambiente. La ventaja de considerar un ser vivo en la evaluación de un disturbio ambiental es que puede reflejar mejor la sinergia de los factores que podrían estar afectando la vida, en contraste con los métodos físico-químicos que sólo expresan valores que se comparan con las referencias legales permitidas.
Contar con un inventario adecuado de la zona permitiría un seguimiento sencillo en cualquier momento del año gracias a tratarse de organismos perennes, lo cual es de especial utilidad en zonas de inestabilidad climática. Es por ello, que este trabajo se orienta a la identificación de los componentes de la biodiversidad para proporcionar información de línea de base con la que poner a prueba los bioindicadores.
Se puede concluir que la composición de la comunidad liquénica es diferente bajo las condiciones del yacimiento petrolero. Por ello, se sugiere que la medición de los parámetros de la comunidad liquénica sea tenida en cuenta en las correspondientes evaluaciones de impacto ambiental.

AGRADECIMIENTOS:

Al ICES-CNEA, PRAMU-CNEA, Fundación Universidad Nacional de Cuyo y el CERNAR por el apoyo brindado para llevar a cabo este trabajo. A la Dirección de Recursos Naturales Renovables de la provincia de Mendoza por facilitar la logística necesaria para este estudio.
A Martin Palma y Luciana Quiroga del cuerpo de Guardaparques de La Payunia por brindarnos tiempo, recursos y conocimiento. A Cecilia Bartoloni por su valiosa colaboración a campo.

BIBLIOGRAFÍA:

Armesto J. & Contreras L. (1981). Saxicolous Lichen Communities: Nonequilibrium Systems? *The American Naturalist*, Vol. 118, No. 4. (Oct., 1981), pp. 597-604.

Barreno Rodríguez E. & Pérez Ortega S. (2003).Líquenes de la Reserva Natural Integral de Muniellos, Asturias. Consejería de Medio Ambiente. Ordenación del Territorio e Infraestructuras del Principado de Asturias y KRK ediciones.

Candia R. y Dalmasso A. Dieta del guanaco (Lama guanicoe) y productividad del pastizal en la Reserva La Payunia, Mendoza (Argentina).Instituto Argentino de Investigaciones de las Zonas Aridas, CC 507, 5500 Mendoza.

Conti, M. E., & Cecchetti, G. (2001). Biological monitoring: Lichens as bioindicators of air pollution assessment—A review. Environmental Pollution, 114, 471–492.

Jaques D. y Legge A., 2012. Ecological Analogues for Biomonitoring Industrial Sulfur Emissions in the Athabasca Oil Sands Region, Alberta, Canada. Developments in Environmental Science, Vol. 11.

Estrabou, C. Filippini, E., Soria, J. P., Schelotto, G. and Rodriguez, J.M. 2011. Air quality monitoring system using lichens as bioindicators in central Argentina. Environ Monit Assess (2011) 182:375–383
Estrabou C., Rodríguez J. M., Copetti M., Papú O. (2013) Guía de Líquenes. Reserva la Payunia. Provincia de Mendoza.

Hawksworth D., Iturriaga T. y Crespo A. (2005). Líquenes como bioindicadores inmediatos de contaminación y cambios medio-ambientales en los trópicos. Rev. Iberoam Micol. 2005; 22: 71-82

Llambías E., 2008. Payunia. Una escuela de vulcanología al aire libre

Martínez Carretero E., 2006. Payunia. Reserva natural y provincia fitogeográfica**.** Anales de Arqueología y Etnología Volumen especial Nº 61, 2006. Páginas 217-235.

McCune, B. & Grace, J. B. 2002. Analysis of Ecological Communities. MjM Software Design. Gleneden Beach, Oregon.

Nash, T. H. III. 2006. Lichen Biology. Cambridge University Press, Cambridge.

Neitlich P., Rogers P. & Rosentreter R. (2003). Lichen Communities Indicator Results from Idaho: Baseline Sampling

Quiroga L., 2012. Carta situación Reserva La Payunia. Red de áreas naturales protegidas. Mendoza, Argentina.

Scheidegger, C., Groner, U., Keller, C. & Stofer, S. 2002. Biodiversity assessment tools - lichens. In: P. L Nimis; C. Scheidegger & P. A. Wolseley (eds). Monitoring with Lichens - Monitoring Lichens. Kluwer Academic Publishers. Netherlands.

Topham, P. B. 1977. Colonization. growth. succession, and competition. Pages 31-68 in M. R. D. Seaward. ed. Lichen ecology. Academic Press, London.

PROCESOS DE SEGREGACIÓN RESIDENCIAL Y CONFIGURACIÓN DE ESCENARIOS DE RIESGOS: ESTUDIO DE CASO DEL PIEDEMONTE DEL DEPARTAMENTO DE GODOY CRUZ y CIUDAD MENDOZA, ARGENTINA

Fermani Marambio, S [a]

[a]*Universidad de Congreso, Mendoza, ARGENTINA*
e-mail: sebastian.fermani@gmail.com

RESUMEN

En el marco de las profundas transformaciones territoriales registradas en las ciudades de América Latina, contextualizadas en un escenario de capitalismo globalizado, los procesos de segregación residencial se configuran como un fenómeno social que amenaza en constituirse en un rasgo común de las ciudades fragmentadas.

Ubicada al pie de la Cordillera de Los Andes, la Provincia de Mendoza se caracteriza por una gran variedad de paisajes y geoformas en su relieve, las cuales determinan la presencia de múltiples procesos dinámicos. El piedemonte, unidad de transición entre la región montañosa y la llanura, constituye un ejemplo de lo mencionado, cristalizando en su espacio la presencia de importantes peligros naturales.

La configuración actual del espacio urbano de los Departamentos metropolitanos de Capital y Godoy Cruz, al igual que otros departamentos de la Provincia de Mendoza, refleja la presencia de diversos fenómenos sociales y políticas públicas expresados en la dimensión territorial. El análisis desde un enfoque socio-ambiental se constituye como una herramienta relevante en el estudio estructural de estos fenómenos.

El presente trabajo plantea como objetivos rectores describir las características asumidas por los procesos de segregación residencial en las áreas de estudio y su vinculación con los escenarios de riesgo presentes en los ambientes pedemontanos de las jurisdicciones seleccionadas.

Los resultados obtenidos por la presente investigación dan cuenta de una relación directa entre los procesos de segregación residencial y configuración de riesgo, en donde la intervención de políticas públicas socio-ambientales y dinámica del mercado vinculado al recurso suelo han tenido un protagonismo principal en la construcción de un territorio signado por la desigualdad social y vulnerabilidad ambiental.

INTRODUCCIÓN

El presente trabajo presta especial atención al piedemonte de la Provincia Geológica de Precordillera, el cual tiene sus orígenes alrededor de los 1.500 msnm y exhibe una extensión aproximada en sentido oriente de 10 y 20 Km (Abraham, 2000). El mismo, constituye un sistema ambiental de gran dinamismo y elevada fragilidad ambiental, en tanto unidad de enlace (grandes rampas de erosión) que funcionan como elementos de conexión entre el área de montaña (relieve positivo) y región de llanura.

La unidad morfoestructural tomada como área de estudio se encuentra delimitada por el sector Oeste de los Departamentos de Godoy Cruz y Capital (ver Fig.1)

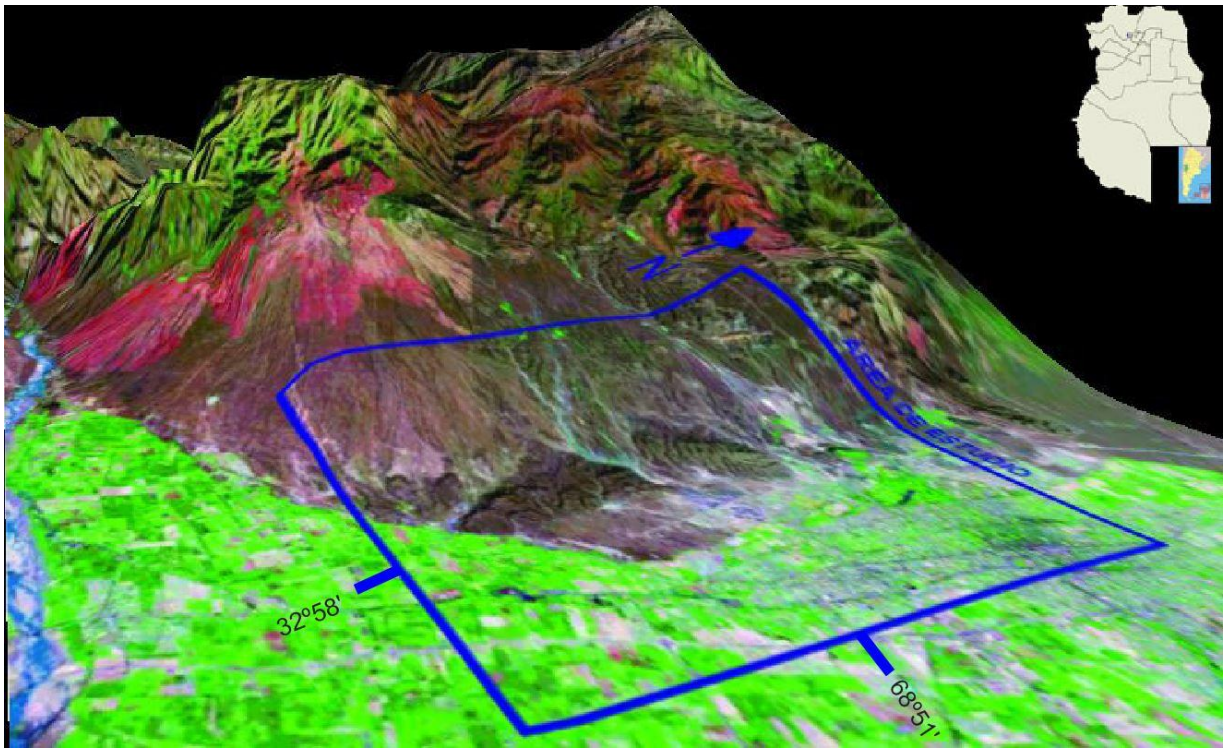


Fig.1: Área de Estudio (sin escala)

Las importantes variaciones altitudinales, en conjunto con las características del soporte físico-biológico, generan un escenario con importantes procesos de intercambio, tanto naturales (que respetan un sentido predominante Oeste-Este, a modo de ejemplo puede mencionarse la energía erosiva) como antrópico (sentido inverso, como es la urbanización). Este espacio de superposición de fases, tanto sociales como naturales, configura la gestación de problemáticas ambientales expresadas en el territorio. (Abraham, *et.al*., 2005).

MÉTODOS O DESARROLLO EXPERIMENTAL

La metodología a implementada para la realización del presente proyecto implicó el despliegue de una serie de estrategias cuanti-cualitativas. Esto implicó, por un lado, la consulta de fuentes documentales y estadísticas relativas a la temática de segregación residencial y riesgos naturales en las áreas de estudio. A partir del uso de técnicas de georreferenciación, se procedió al análisis de datos utilizando Sistemas de Información Geográfica (SIG), combinando información obtenida a partir de trabajos existentes, estadísticas elaboradas por organismos oficiales y observación directa, realizada en salidas al campo. Finalmente, a partir de los datos recolectados y analizados, se elaboraron capas cartográficas que permitieron dar cuenta de la relación entre la segregación residencial y el riesgo natural analizado.

La construcción del soporte cartográfico exigió la consulta bibliográfica de trabajos publicados por organismos oficiales provinciales (Instituto Provincial de la Vivienda) y publicaciones de especialistas en la temática. –A partir de la sistematización de ambas

fuentes, se digitalizó la información geoespacial pertinente para el presente trabajo a través de la utilización de imágenes satelitales TM, ETM + y OLI de LANDSAT y archivos *shapes* de parcelamientos municipales, los cuales fueron trabajados en un Programa de SIG.
Con la información obtenida se desarrolla un modelo de relaciones temáticas atributivas, lo que permitió la identificación y relación entre niveles espaciales y temáticos mediante la vinculación de bases de datos en el nivel de base cartográfica.

Planteo del Problema

La topografía de América Latina registra una multiplicidad de escenarios socio ambientales, producto de complejas interacciones establecidas entre el medio físico-biológico y los sistemas sociales presentes en los mismos. La modulación de estas relaciones se encuentra estructurada por una diversidad de elementos presentes en un determinado sistema ambiental, los cuales intervienen en un recorte espacio-temporal determinado. Según Wacquant (2007) "…el espacio urbano es una construcción histórica y política, en el sentido fuerte de la expresión…", se trata de un producto complejo, resultante de tensiones procedentes de los distintos actores presentes en una ciudad. (Lentini, *et.al*., 2010)
En un escenario donde el deterioro ambiental es evidente, la anatomía urbana de las ciudades asume características particulares fuertemente influenciadas por procesos derivados de las dinámicas del capitalismo globalizado. Entre estas características se puede identificar la presencia y concentración de importantes desigualdades sociales asociadas a la consolidación de mecanismos que aseguran su reproducción en el tiempo.
De esta manera, la segregación residencial emerge como un fenómeno asociado a los modelos de desarrollo predominantes, que confiere particularidades a la construcción del espacio urbano y promueve la fragmentación social interna de las metrópolis. Así mismo, implica la concentración espacial de los sectores más vulnerables de la población, lo que determina una exposición diferencial de los ciudadanos frente a ciertas condiciones ambientales adversas.
Problematizar teóricamente dichas temáticas en un plano de discusión de políticas públicas requiere un esfuerzo sistemático conducente a la construcción de un marco de análisis que pueda conciliar distintas disciplinas del conocimiento relacionadas con el objeto de estudio.

Análisis de Datos

Para la delimitación de áreas segregadas se trabajó en la identificación de barrios utilizando como marco de referencia el modelo de ciudad dual, georreferenciando a los mismos bajo las categorías de asentamientos marginales y barrios privados (ver Fig. 2). Se entiende que la implementación de este marco ordenador habilita una representación espacial de la concentración de individuos que comparten ciertas características socio-económicas como las relacionadas con la vivienda. Por concentración se entiende a la propensión de determinados grupos sociales a habitar determinados sectores urbanos (Sabatini, *et.al*., 2007).

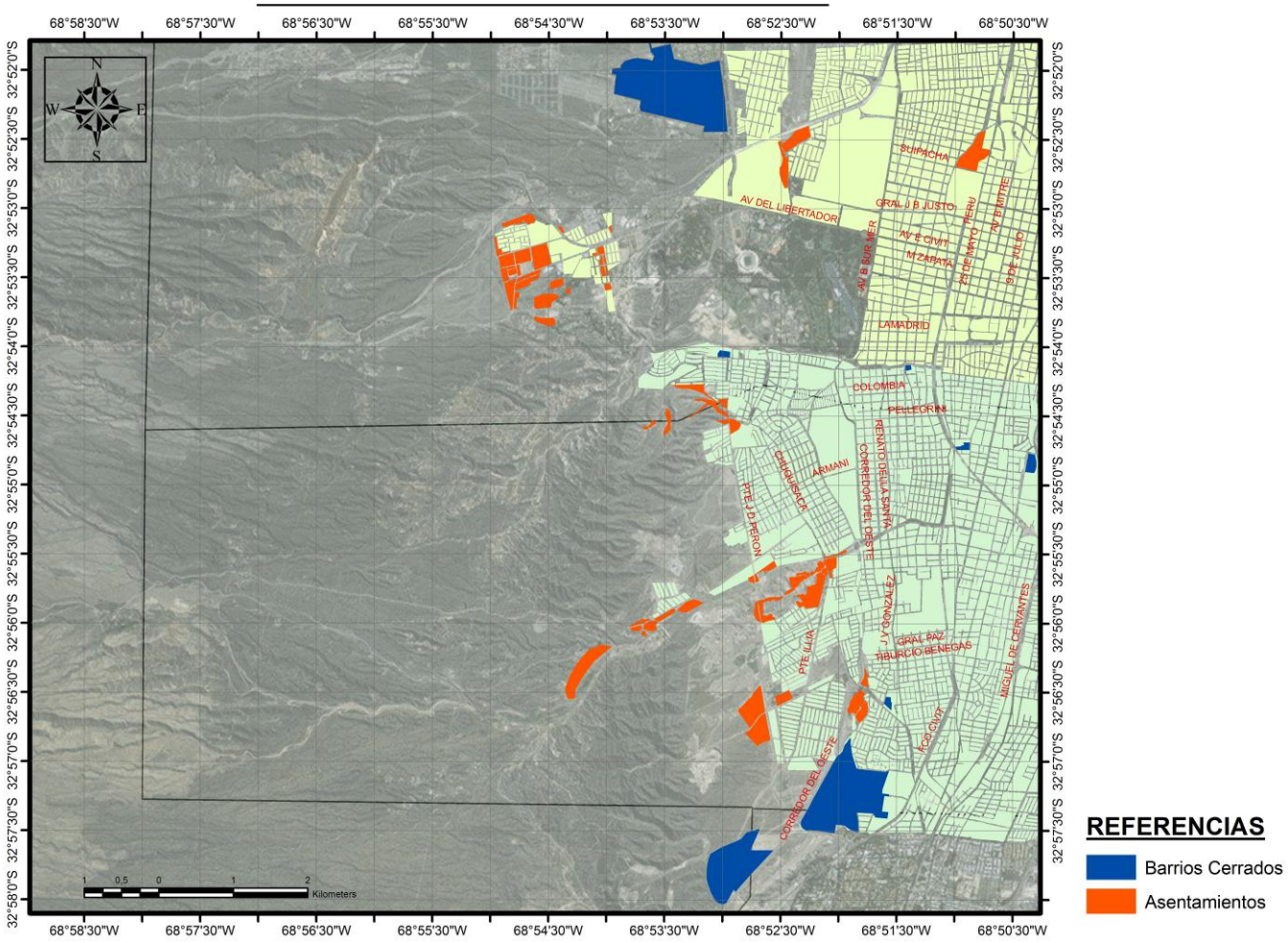


Fig.2:Georreferenciación de áreas segregadas

La determinación de los riesgos naturales (sísmicos y aluvionales), requirió la consideración de estudios realizados en el área donde se contemplan factores condicionantes de cuenca: comportamiento, área, altura media, perímetro, red y densidad de drenaje, pendiente media de causes, umbrales morfodinámicos, litología, geomorfología, tipo y características de las fuentes sismogénicas. Esta información se combinó con la vulnerabilidad físico-estructural, en donde, a través de la fotointerpretación en función a la localización de los barrios identificados, se tuvo en cuenta la cercanía de estas unidades de análisis en relación a las amenazas naturales seleccionadas. Las características estructurales de estas construcciones de vivienda, así como también la presencia de infraestructura de prevención y mitigación de posibles daños, fueron determinantes en la valoración del riesgo (ver Fig.3 y Fig.4)

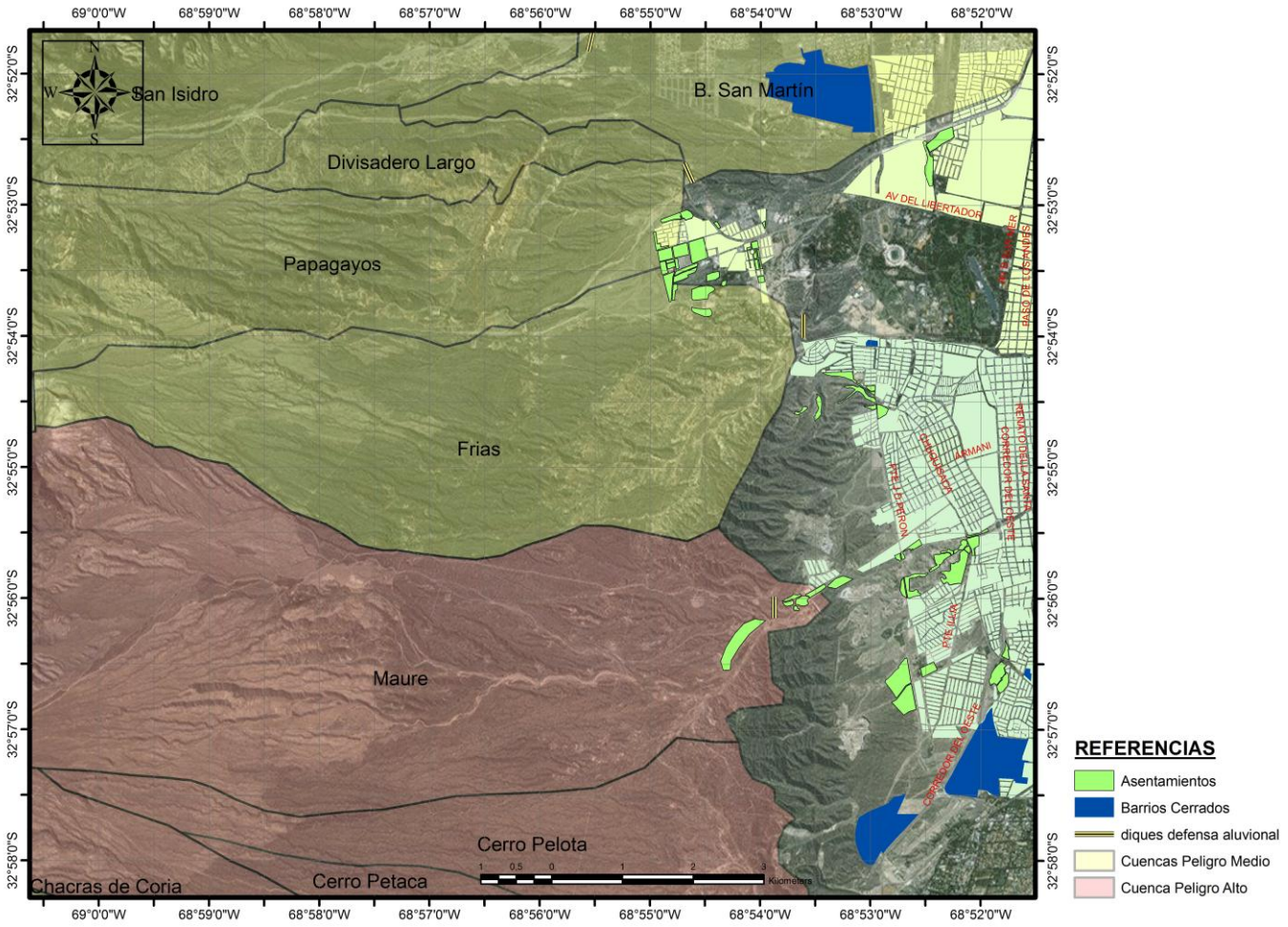


Fig.3: Riesgo aluvional por análisis de cuenca

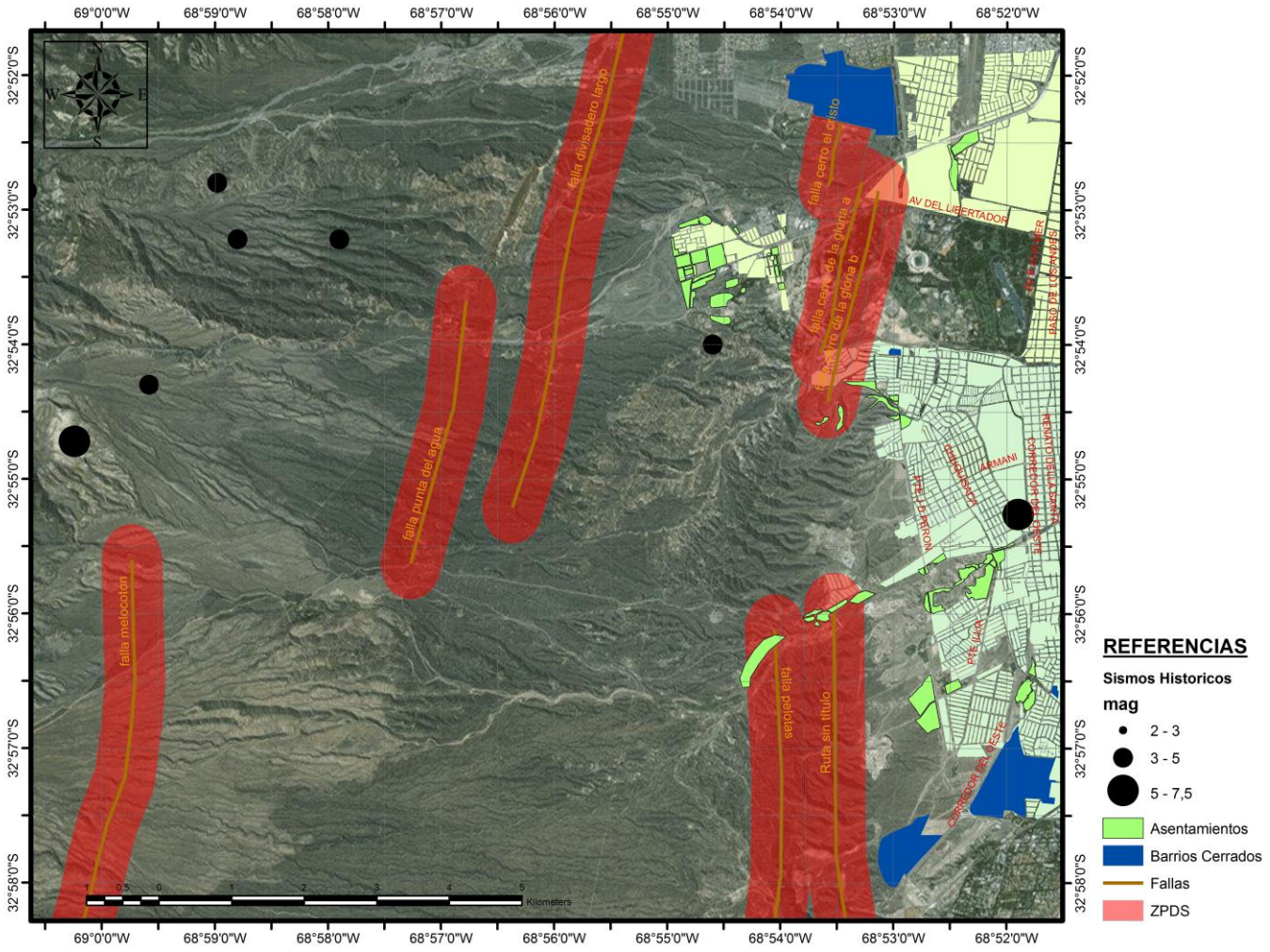


Fig.4:Georrefenciación de fallas geológicas y análisis en base de Sísmicos Históricos y Zona de Peligro de Desplazamiento Superficial

RESULTADOS

Los resultados sugieren una dialéctica directa entre los fenómenos de segregación residencial y la configuración de escenarios de riesgos.

Lo mencionado se sustenta en el análisis de la potencial afectación de sectores más desfavorecidos (de mayor vulnerabilidad) ante eventos naturales del orden destructivo (aluvional y sísmico) (Ver Fig.5).

El tratamiento y georreferenciación de los datos analizados exhibe que los asentamientos marginales ubicados en el área de estudio se encuentran en áreas ambientales caracterizadas por la presencia de fallas geológicas de significativa peligrosidad y en espacios poco favorecidos en relación a la existencia de obras de contención aluvional.

A lo mencionado debe agregarse las características estructurales de viviendas, en donde si bien existen amenazas que inciden sobre los distintos grupos segregados, el riesgo es diferencial en función a la distinta vulnerabilidad de los sectores estudiados.

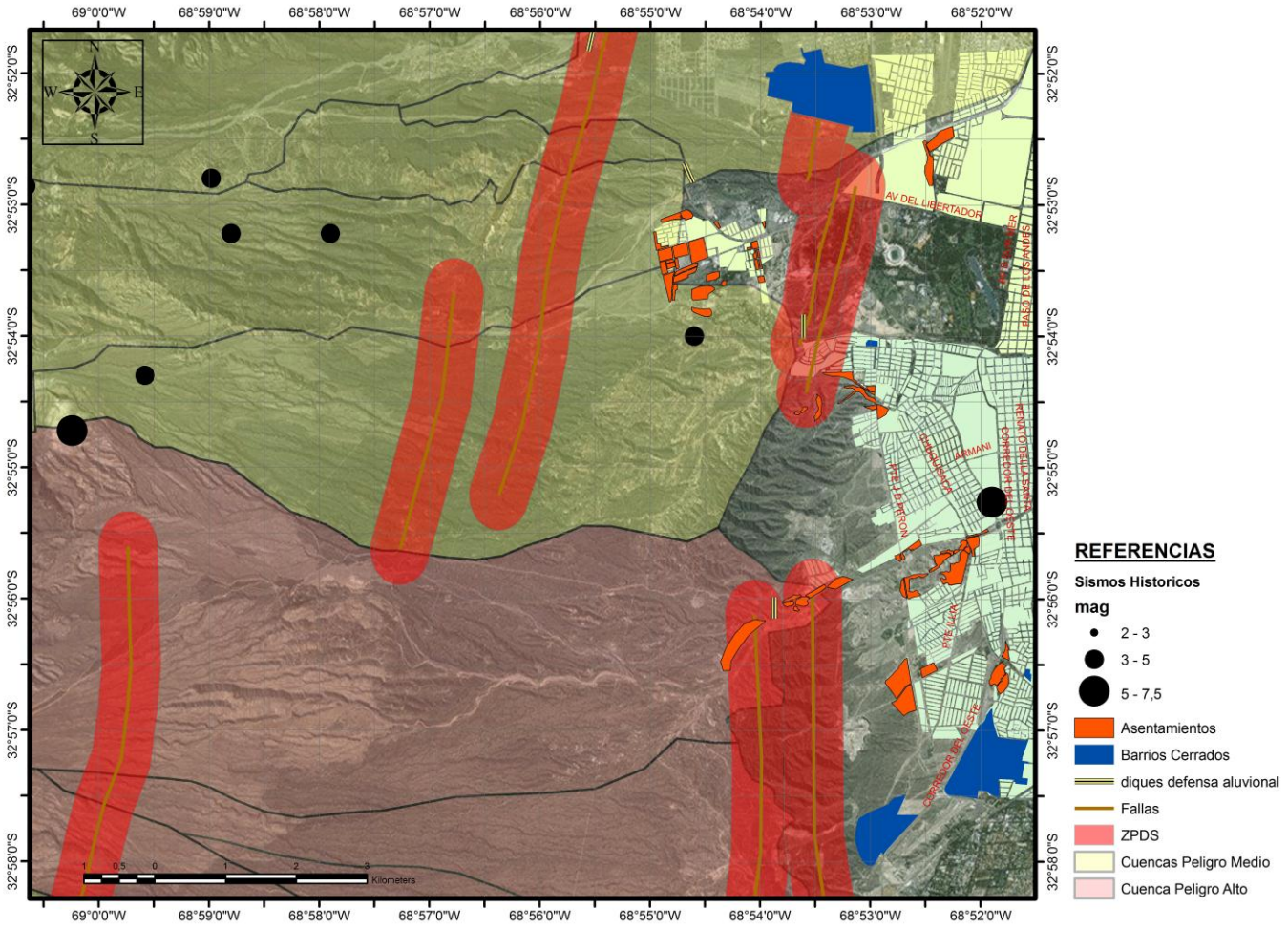


Fig.5: Evaluación de riesgo sísmico y aluvional en base a sectores segregados

DISCUSIÓN

-Conceptualización del fenómeno

La segregación residencial remite a la desigual distribución de los grupos sociales en el territorio. Para Massey y Denton (2006) el concepto de segregación residencial refiere a la "…separación de dos o más grupos en el espacio urbano y/o al grado en que dos o más grupos viven separados entre sí en diferentes partes del territorio urbano". En la misma línea, White (1983 citado por Rodriguez, 2008) sostiene que "…la segregación en sentido geográfico consiste en la desigual distribución de los grupos sociales en el espacio físico.".

La segregación conduce, por tanto, a una situación de fragmentación social, entendida como divisiones en el tejido social y al debilitamiento, e incluso la desaparición, de lazos sociales entre los diversos grupos socioeconómicos, como así también a una escasa movilidad social, lo que a su vez se considera que lleva a procesos de agudización de situaciones de carencia entre los sectores sociales más desfavorecidos de la estructura (Roitman, 2004).

El fenómeno mencionado se da como consecuencia de múltiples factores que se interrelacionan dando como resultado~~,~~ las actuales configuraciones territoriales. Existen puntos de coincidencia entre autores (Castells, 2000,~~:~~ MacDonald, 1998; CEPAL, 2000; Contreras, 1991 citado por~~:~~ Rodríguez, 2001) quienes sostienen que la segregación residencial es un fenómeno social emergente de cambios estructurales presentes en el ámbito mundial, registrados principalmente en la década de 1980 (con una mayor influencia del mercado, desregulación y globalización) en donde existen sectores sociales favorecidos y otros sectores que registran un importante empobrecimiento estructural; una tendencia, a nivel global, de buscar espacios de mayor seguridad dentro del tejido urbano (por parte de sectores con mayores recursos); liberación del mercado de tierras (lo que habilita un correlato entre valor de la tierra y poder adquisitivo de quien puede habitarla); intenciones de exclusividad por parte de los sectores sociales más pudientes; entre otros.

Torres (2003 citado por Linares y Lan, 2006) destaca que los principales trabajos realizados sobre la temática sugieren un agrupamiento de tres causas fundamentales del fenómeno. El primero se encuentra vinculado al mercado de~~l~~ trabajo, ámbito fundamental en donde se gestan importantes desigualdades sociales; el segundo grupo está asociado a la dinámica del mercado inmobiliario; mientras que el tercero es el poder de regulación por parte del estado, destacando el potencial del mismo en promover dichos procesos de segregación (ya sea por permisividad o acción directa) o mitigación de la misma.

Una característica estructural reflejada en los países de América Latina es la concentración de la pobreza en ciertos espacios del territorio, generalmente en la periferia de las grandes ciudades. Esta población posee una gran privación material, que se contrapone a la misma concentración de hogares ricos en otros barrios (Katzman, 2001). Lo mencionado se evidencia en el incremento de barrios privados. En relación a las clases medias, también puede observarse una tendencia en la concentración espacial urbana de las mismas (Svampa, 2001).

La situación descripta se ve agravada ~~con~~ por la concentración de necesidades de la vida cotidiana dentro de espacios físicos concretos (educación, comercios, trabajo, servicios, etc), fenómeno denominado "medio ambiente totales" (Marcuse, 1996 ~~.~~citado por ~~:~~ López, 2005), caracterizado por la permanencia continúa de los individuos dentro de contextos territoriales definidos, en los cuales satisfacen todas sus necesidades cotidianas.

El proceso de segregación residencial remite a la menor o mayor posibilidad de construcción de espacios de sociabilidad informal (Katzman, 2000). Esto da cuenta de la dualización de las ciudades, e incluso de su fragmentación en muchos más espacios, lo que deriva en la falta de intercambios de diversos tipos entre los grupos sociales con diferente posición de clase. Esa dinámica refleja entonces procesos en los que la construcción social cotidiana pasa a ser desarrollada de manera "guetificada", separada, divorciada, privada, en el sentido de interna a los diversos grupos y no pública en el sentido de encuentro, de construcción colectiva y diversa, etc. Retomando lo que señala Suárez (2007 citado por PNUD, 2009), "los pobres sólo se vinculan con los pobres, la clase media solo lo hace con la clase media, etc.". No hay construcción social desde la pluralidad, desde el respeto por el distinto de clase, de etnia, de género, etc. Y sí hay profundización, arraigo, continuidad, permanencia, y entonces, imposibilidad de transformación desde las estructuras.

Las ciudades latinoamericanas se presentan como espacios fragmentados a fines del siglo XX, caracterizados por la aparición de unidades espaciales dotados con una importante homogeneidad social en su estructura interna pero con marcadas diferencias en relación a otras unidades espaciales dentro de un mismo ambiente urbano. La convivencia de estas realidades dispares da lugar a la idea de "Ciudad Dual" (Ghilardi y Dalla Torre, 2013), definida como "…la coexistencia espacial de un gran sector profesional y ejecutivo de clase media, con una creciente subclase urbana" que "ejemplifica la apropiación de la ciudad central por grupos sociales que comparten el mismo espacio mientras que son mundos aparte en términos de estilos de vida y posición estructural en la sociedad" (Castells, 1995). Este fenómeno puede visualizarse en el territorio provincial (como en otras regiones de Argentina) con la proliferación de barrios privados y el incremento significativo de asentamientos marginales. En relación a estos últimos, debe destacarse que en esta tipología de vivienda se registra una duplicación de las mismas tomando como referencia las existentes en la década del 80 (48 barrios) con la década de los 90. Las cifras relevadas en el año 2004 refleja un mantenimiento en números de viviendas pero un incremente de pobladores en los asentamientos existentes (proceso conocido como densificación). En cuanto a los barrios privados, se registra al año 2008 una cantidad de 150 (Lentini, et. al., 2008 citado por PNUD, 2009).

Fuertemente influenciada por profundas transformaciones económicas, la configuración del territorio mendocino no escapa a otras realidades asociadas a tierras secas de la región. Una de las manifestaciones de dichos cambios se encuentra cristalizada en una marcada fragmentación territorial, la cual refleja una fuerte concentración de poder, recursos y población en sectores geográficos reducidos (espacio irrigado), en desmedro del agotamiento y afectación de recursos de otras poblaciones localizadas en espacios no irrigados, los cuales se insertan al modelo territorial desde la subordinación y vulnerabilidad, reforzando su identidad desde la figura de "espacios invisibles". Este fenómeno encuentra correlato con postulados propuestos por la teoría de la dependencia, en donde el centro es alimentado por la periferia, estableciendo relaciones asimétricas entre ambos elementos. (Montaña, *et.al*., 2005)

-Implicancias de los procesos de segregación residencial y configuración del riesgo

El constante crecimiento de la población ha generado la necesidad de nuevas tierras para urbanizar. Frente a este a esta situación se identifica la prevalencia de dos direcciones principales, siendo una de ellas el oasis irrigado (situación que genera la ocupación de superficies con potencial agrícola) y la otra, hacia el oeste, proceso de ocupación en sentido inverso a la pendiente, sobre el Piedemonte. De esta forma se ha pretendido desarrollar de igual manera una construcción urbana de llanura sobre el frágil ambiente pedemontano, no advirtiendo particularidades ecosistémicas y geomorfológicas, generando de esta forma un alto impacto y deterioro de la calidad ambiental en la zona. Un aspecto a ser considerado es que la proximidad del área de la ciudad genera una gran atracción sobre esta unidad morfoestructural, sometiéndolo a una alta presión antrópica, conllevando a un rápido proceso de deterioro (Abraham, *et.al*., 2005).

Los resultados obtenidos sugieren una activa participación del mercado como principal ordenador del territorio, siguiendo una lógica de especulación inmobiliaria, en donde sumado a estrategias colectivas por parte de sectores más desfavorecidos (asentamientos

marginales) y falencias en términos de planificación estatal, las dinámicas urbanas han sido desarrolladas sin tener en cuenta las características del soporte biofísico.

CONCLUSIONES

El Piedemonte de la Provincia de Mendoza exhibe una historia de apropiación y ocupación antrópica donde las dinámicas urbanas cristalizan el modelo de ciudad dual. El desarrollo de asentamientos marginales y la proliferación de barrios privados en ausencia de un marco de planificación ambiental concreto y sistémico, se traduce en un escenario en el que existe una concentración geográfica de ventajas ambientales.
En consideración a las características del fenómeno y su potencial reproducción en el tiempo, se estima pertinente la implementación de políticas socio-ambientales direccionadas a prevenir y mitigar los efectos derivados de la fragmentación territorial y urbanización en sistemas ambientales caracterizados por la fragilidad ambiental y presencia de peligros naturales.

REFERENCIAS

Abraham, Elena Maria, 2000. Programa de Cooperación para la investigación. Junta de Gobierno de Andalucía. Universidades y Centros de Investigación de la Region Andina Argentina. **Tomo I**, 38.

Abraham, E. M., Roig F. A. Y Salomón M. 2005. Planificación y gestión del piedemonte al oeste de la ciudad de Mendoza. Un asunto pendiente. Conflictos socio-ambientales y políticas públicas en la provincia de Mendoza. OIKOS-Red Ambiental. Mendoza.

Castells, M., 1995. *La ciudad informacional. Tecnología de la Información, reestructuración económica y el proceso urbano regional*. Editorial Alianza, Madrid.

Ghilardi, M. y Dalla Torre, J., 2013. *Transformaciones socio-espaciales (en la Argentina reciente): la emergencia de nuevas formas de exclusión en las metrópolis del Siglo XXI*.

Katzman, R.,2000. *Notas sobre la medición de la Vulnerabilidad Social*. Documento de Trabajo del IPES. Aportes Conceptuales.

Kaztman, R, 2001. *Seducidos y Abandonados: el aislamiento de los pobres urbanos*. Revista de la CEPAL 75.

Lentini, M., Palero, D. y Montaña, E., 2010. La inequidad en el acceso al suelo urbano: los procesos de segregación residencial e informalidad urbana. XI Seminario de Internacional RII. Grupo Temático II: Desigualdades Territoriales

Lentini y otros, 2008. *Alternativas para el hábitat informal. Análisis de la eficacia de las políticas sobre asentamientos informales: el caso de la Provincia de Mendoza*. Universidad Nacional de Cuyo, Mendoza. En: Aportes para el desarrollo humano en Argentina 2009. Segregación residencial en Argentina. Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo.

Linares, S. y Lan, D., 2007. *Análisis multidimensional de la segregación socioespacial en Tandil (Argentina) aplicando SIG*. Instituto Universitario de Geografía. Universidad de Alicante. Investigaciones Geográficas N°44.

Marcuse, P., 1996. *Space and race in the post-fordist city: the outcast ghetto and andvanced homelessness in the Unated State today*. En: López, N., 2005. Equidad Educativa y Desigualdad Social. Desafíos de la Educación en el nuevo escenario Latinoamericano. UNESCO.

Massey, D. y Denton N. 1988. "The Dimensions of Residencial Segregation".Social Forces. Vol. 67(2). En: Aportes para el desarrollo humano en Argentina 2009. Segregación residencial en Argentina. Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo. 2009, 45.

Montaña, E., Torres, L., Abraham, E., Torres, E. y Pastor, G., 2005. *Los espacios invisibles. Subordinación, marginalidad y exclusión de los territorios no irrigados en tierras secas de Mendoza, Argentina*. Revista de El Colegio de Sonora, Región y Sociedad N° 32.

Rodríguez, G. "Segregación residencial socioeconómica en la Ciudad Autónoma de Buenos Aires. Dimensiones y cambios entre 1991–2001" 2008. Revista semestral de datos y estudios demográficos. Dirección General de Estadística y Censos del Gobierno de la Ciudad de Buenos Aires, **8**, 10.

Rodríguez, J., 2001. *Segregación Residencial Socioeconómica: ¿qúe es?, ¿cómo se mide?, ¿qué esta pasando?, ¿importa?*. Serie Población y Desarrollo. CEPAL.

Roitman, Sonia, 2004. *Urbanizaciones cerradas: estado de la cuestión hoy y propuesta teórica.* Revista Geográfica Norte Grande.

Sabatini, F., Wormald, G., Sierralta, C. y Peter, P., 2007. Segregación residencial en Santiago: tendencias 1998-2002 y efectos vinculados con su escala geográfica. Documento de trabajo n° 37, Instituto de Estudios Urbanos y Territoriales. Santiago, Chile.

Suarez, A.L. 2007. *Structure and Consequences of Social Segregation in Poor Buenos Aires Settlements*. Tesis doctoral.Universidad de California.En: PNUD, 2009. Aportes para el Desarrollo Humano en Argentina 2009.

Svampa, M. 2001. *Los que ganaron: la vida en los countries y barrios privados*. Biblos, Buenos Aires.

Wacquant, L., 2007. Los condenados de la ciudad. Gueto, periferias y Estado. Buenos Aires: S. XXI.

White, M. J., 1983. The *measurement of spatial segregation*, en American Journal of Sociology, 88(5), The University of Chicago Press, pp. 1008–1018.En Rodríguez, G. Segregación residencial socioeconómica en la Ciudad Autónoma de Buenos Aires. Dimensiones y cambios entre 1991–2001, 2008. Revista semestral de datos y estudios demográficos. Dirección General de Estadística y Censos del Gobierno de la Ciudad de Buenos Aires. **8**, 9.

MICROMAMÍFEROS COMO INDICADORES DE DETERIORO AMBIENTAL (ANTRÓPICO) EN EL SUR DE MENDOZA

Fernández F. J.[a]

[a]*Laboratorio de Anatomía Comparada, FCN y M, Universidad Nacional de La Plata, CONICET, ARGENTINA*

e-mail: fernandezf77@yahoo.com.ar

RESUMEN

En numerosas partes del mundo, incluyendo varias regiones de Argentina, se ha demostrado que ciertas actividades humanas que impactan sobre el ambiente, como las extensas áreas cultivadas, el sobrepastoreo, la quema intencional de campos con fines agropecuarios y la actividad minera, producen cambios profundos en la diversidad y riqueza taxonómica de las comunidades de micromamíferos. No obstante, aún existen grandes áreas en Argentina sin información disponible sobre cómo y por qué ocurren estas reestructuraciones taxonómicas. En este trabajo se realiza una comparación entre muestras de micromamíferos recuperadas de sitios arqueológicos holocénicos del sur de Mendoza y de muestras modernas de egagrópilas de aves rapaces provenientes de la misma área, para analizar cómo han cambiado las comunidades de micromamíferos en la actualidad, teniendo en cuenta el impacto antrópico sobre el ambiente. Se observaron variaciones en la diversidad y riqueza taxonómica de los conjuntos actuales de micromamíferos y un incremento de especies oportunistas como Calomys musculinus *en las llanuras del este y* Abrothrix olivacea *en el sector cordillerano; en detrimento de otras especies. Posiblemente, la acción del ganado doméstico (principalmente* Capra hircus *[cabra] y* Ovis aries *[oveja]), afianzado en el sur de Mendoza desde el siglo XIX, ocasionó los cambios en los conjuntos de micromamíferos observados en la actualidad. Sin embargo, esta reestructuración taxonómica de las comunidades de micromamíferos no fue tan pronunciada como en otras regiones de Argentina (e.g., Patagónica, Pampeana y Puneña).*

INTRODUCCIÓN

Numerosas actividades antrópicas que deterioran el ambiente, como las extensas áreas cultivadas, la introducción de especies exóticas animales y vegetales, el sobrepastoreo, la quema intencional, la deforestación, la caza furtiva, la construcción de represas y la actividad minera, producen cambios profundos en las comunidades faunísticas, que incluye a los micromamíferos (e.g., Roig V., 1991; Pardiñas U. et al., 2012; Teta P. et al., 2014 y literatura allí citada). La reestructuración taxonómica de las comunidades actuales de micromamíferos ha sido observada en numerosas partes del mundo y en varias regiones de Argentina, principalmente en base a la pérdida de la diversidad y riqueza específica e incrementos de especies oportunistas, en detrimento de otras, en algunos casos llegando a producirse extinciones locales y regionales (e.g., Roig V., 1991; Pardiñas U. et al., 2012; Teta P. et al., 2014 y literatura allí citada).

En Argentina, la relación entre algunas especies de roedores sigmodontinos y el impacto ambiental ocasionado por los avances de los sistemas agropecuarios fue demostrado en numerosos trabajos, delineados principalmente en las regiones Pampeana (e.g., Pardiñas U. et al., 2004; Teta P. et al., 2010; Fernández F. et al., 2012), Patagónica (e.g., Pardiñas U. et al., 2000, 2011, 2012; Cueto G. et al., 2008; Pardiñas U. y Teta P., 2013; De

Tommaso D. et al., 2014) y Puneña (e.g., Teta P. y Ortiz P., 2002; Ortiz P. et al., 2011), aunque también fue propuesto como hipótesis en otras regiones (e.g., Pardiñas U. y Teta P., 2005, 2006). No obstante, aún existen grandes áreas en Argentina sin información disponible sobre cómo y por qué han cambiado las comunidades de micromamíferos en relación a momentos previos y posteriores al impacto ambiental, producto de las actividades humanas intensivas durante los últimos siglos. Roig V. (1991) en un estudio de fuentes históricas, ateniente al efecto de la desertificación (antrópica) sobre la distribución de los mamíferos grandes en el cono sur de Sudamérica, explica que la escasez de datos sobre los micromamíferos se debe a que pasaban inadvertidos por los cronistas. De esto se desprende la necesidad de llevar a cabo otro tipo de estudios, que permitan evaluar los posibles cambios en las comunidades y distribuciones de los micromamíferos en la actualidad.

En este trabajo se realiza una comparación entre muestras de micromamíferos recuperados de sitios arqueológicos holocénicos del sur de Mendoza y muestras modernas de egagrópilas de aves rapaces provenientes de la misma área, para analizar cómo han cambiado las comunidades de micromamíferos en la actualidad respecto al registro del Holoceno, teniendo en cuenta el impacto antrópico sobre el ambiente.

Sur de Mendoza: Ambientes y Micromamíferos

El área de estudio está comprendida entre los 34°30'-37°30'S y 70°30'-67°W. Es un área ambientalmente muy heterogénea, especialmente por la presencia de la cordillera de los Andes con alturas de hasta 5000 m s.n.m en su sector occidental, la cual junto al predominio de los vientos del Pacífico, imprimen al paisaje características climáticas áridas-semiáridas (Capitanelli R., 1972). Hacia el este se encuentran el piedemonte, integrado por numerosos abanicos aluviales con alturas entre 1800 y 1000 m s.n.m, la región volcánica de La Payunia y la planicie oriental, descendiendo hasta los 200 m s.n.m en el río Desaguadero, formada por sedimentos aluviales depositados por los ríos Diamante y Atuel (Capitanelli R., 1972). Fitogeograficamente está comprendida de oeste a este por las provincias Altoandina, Patagónica y Monte, siguiendo un gradiente de disminución de la altitud y un aumento de las comunidades florísticas y faunísticas adaptadas a los ambientes desérticos (Cabrera A., 1976). Sin embargo, en la actualidad estos ambientes se encuentran modificados por diversas actividades humanas (Roig V., 1991; Prieto M. y Abraham E., 2000; Asner G. et al., 2003; Cortegoso V. et al., 2010).

Acorde a esta heterogeneidad ambiental, las comunidades de micromamíferos del sur de Mendoza presentan variaciones en sus estructuras taxonómicas en sentidos oeste-este y norte-sur (Fernández F., 2012). Al oeste habitan especies Patagónicas tales como *Euneomys chinchilloides*, *Euneomys mordax*, *Loxodontomys micropus*, *Chelemys macronyx*, *Abrothrix hirta* y *Abrothrix olivacea* y hacia el este ocurren especies afines al desierto del Monte tales como *Galea leucoblephara*, *Calomys musculinus*, *Graomys griseoflavus*, *Akodon dolores* y *Oligoryzomys flavescens* (Fernández F., 2012). Asimismo, el sur de Mendoza presenta todos los taxones de micromamíferos que habitan en la provincia, a excepción de la especie Puneña *Abrothrix andina* (Fernández F., 2012). En tanto, el norte de la provincia se caracteriza por la ausencia de especies Patagónicas, con la excepción de *E. chinchilloides* el cual alcanza el sur de San Juan (Fernández F., 2012). En base a este patrón biogeográfico, se planteó que el área comprendida desde el centro de Mendoza hasta el sur de San Juan, podría ser el deslinde entre los elementos Patagónicos y Puneños (Fernández F., 2012).

MATERIALES Y MÉTODOS

Análisis de las Muestras

Se analizaron conjuntos de micromamíferos provenientes de diez sitios arqueológicos, de los cuales, en base a estudios tafonómicos, pudo identificarse que mayormente fueron depositados por la acción depredadora de aves rapaces (ver Fernández F., 2012). Cuatro se encuentran ubicados fitogegráficamente en el desierto del Monte: **1**) Rincón del Atuel-1 (RA-1; ca. 1700-350 ^{14}C años AP), **2**) Agua de La Mula (ALM; ca. 1600-1000 ^{14}C años AP), **3**) Agua de Los Caballos-1 (ACA-1; ca. 1200-250 ^{14}C años AP), **4**) La Peligrosa-1 (LP-1; ca. 1500-400 ^{14}C años AP). Dos están localizados en el piedemonte, en el sector del valle medio del Río Grande y fitogeográficamente en la estepa Patagónica: **5**) Cueva de Luna (CL; ca. 3800 ^{14}C años AP - SXX), **6**) Alero Puesto Carrasco (APC; ca. 2100 ^{14}C años AP - SXX). Cuatro ubicados en la cuenca superior del Río Atuel, pertenecientes fitogeográficamente a la estepa Patagónica: **7**) Cueva Arroyo Colorado (CAC; ca. 3200-750 ^{14}C años AP), **8**) Cueva Palulo (CP; ca. 4000-130 ^{14}C años AP), **9**) Arroyo Malo-3 (AMA-3; ca. 8900 ^{14}C años AP - SXX) y **10**) Laguna el Sosneado-3 (LS-3; ca. 2100 ^{14}C años AP- SXX)] "ver Fig. 1".

Los conjuntos de micromamíferos de los sitios arqueológicos se compararon con las comunidades de micromamíferos existentes actualmente en el área, mediante la utilización de muestras de egagrópilas de aves rapaces, provenientes de diferentes localidades del sur de Mendoza: **1**) 50 km al NO de San Rafael (*Bubo virginianus*, Nabte M. et al., 2006), **2**) Río Seco La Hedionda (*Tyto alba*, Massoia E. et al., 1997), **3**) Gruta del Indio (*B. virginianus*, Fernández F. at al., 2009a), **4**) Agua de La Mula (*Geranoaetus melanoleucus*, Fernández F., 2012), **5**) Los Frisos (ave rapaz indet., Pardiñas U. et al., 2008), **6**) La Pasarela (ave rapaz indet., Pardiñas U. et al., 2008), **7**) 10 km al O de Bardas Blancas (ave rapaz indet., Pardiñas U. et al., 2008), **8**) Caverna de las Brujas (ave rapaz indet., Gasco A. et al., 2006), **9**) Volcán Malacara (*T. alba*, Fernández F., 2012), **10)** Volcán Carapacho (*T. alba*, Pardiñas U. et al., 2008), **11**) Laguna de la Niña Encantada (*B. virginianus*, Massoia E. et al., 1994, Nabte M. et al., 2006, Pardiñas U. et al., 2008), **12**) 6 km al S de Las Leñas (*T. alba*, Fernández F. et al., 2009a, 2009b), **13**) Arroyo Panchino II (*Buteo polyosoma*, Fernández F., 2012), **14**) Arroyo Panchino I (*B. virginianus*, Fernández F., 2012), **15**) Arroyo Malo (*G. melanoleucus*, Fernández F., 2012) y **16**) Laguna El Sosneado (*T. alba*, Fernández F., 2012) "ver Fig. 1".

Las aves rapaces mencionadas presentan ciertas diferencias tanto respecto a las dimensiones de sus hábitos (diurnos / nocturnos) y territorios de caza, como a los tamaños (chicos / medianos / grandes) de las presas que consumen. A pesar de estos sesgos, como estas aves se alimentan principalmente de micromamíferos y se asume que sus comportamientos tróficos no han variado a través del tiempo, las diferencias entre las acumulaciones zooarqueológicas y actuales pueden utilizarse como indicadores indirectos de cambios ambientales (e.g., Teta P. et al., 2014).

Los datos brutos de cada una de las muestras arqueológicas y actuales se pueden consultar en la tesis doctoral del autor (Fernández F., 2012). En este trabajo se realizaron cálculos de porcentaje de número mínimo de individuos (MNI%), riqueza y diversidad taxonómica (Índice de Shannon) y análisis de agrupamiento (*Cluster Analysis*) mediante *Euclidean distance* para datos cuantitativos (basado en MNI%). Los agrupamientos fueron graficados a través del método de unión de distancias promedios

entre todos los miembros de los pares de grupos (UPGMA). Estos cálculos estadísticos se realizaron mediante el programa PAST (PAleontological STatistics**)** versión 3.02.

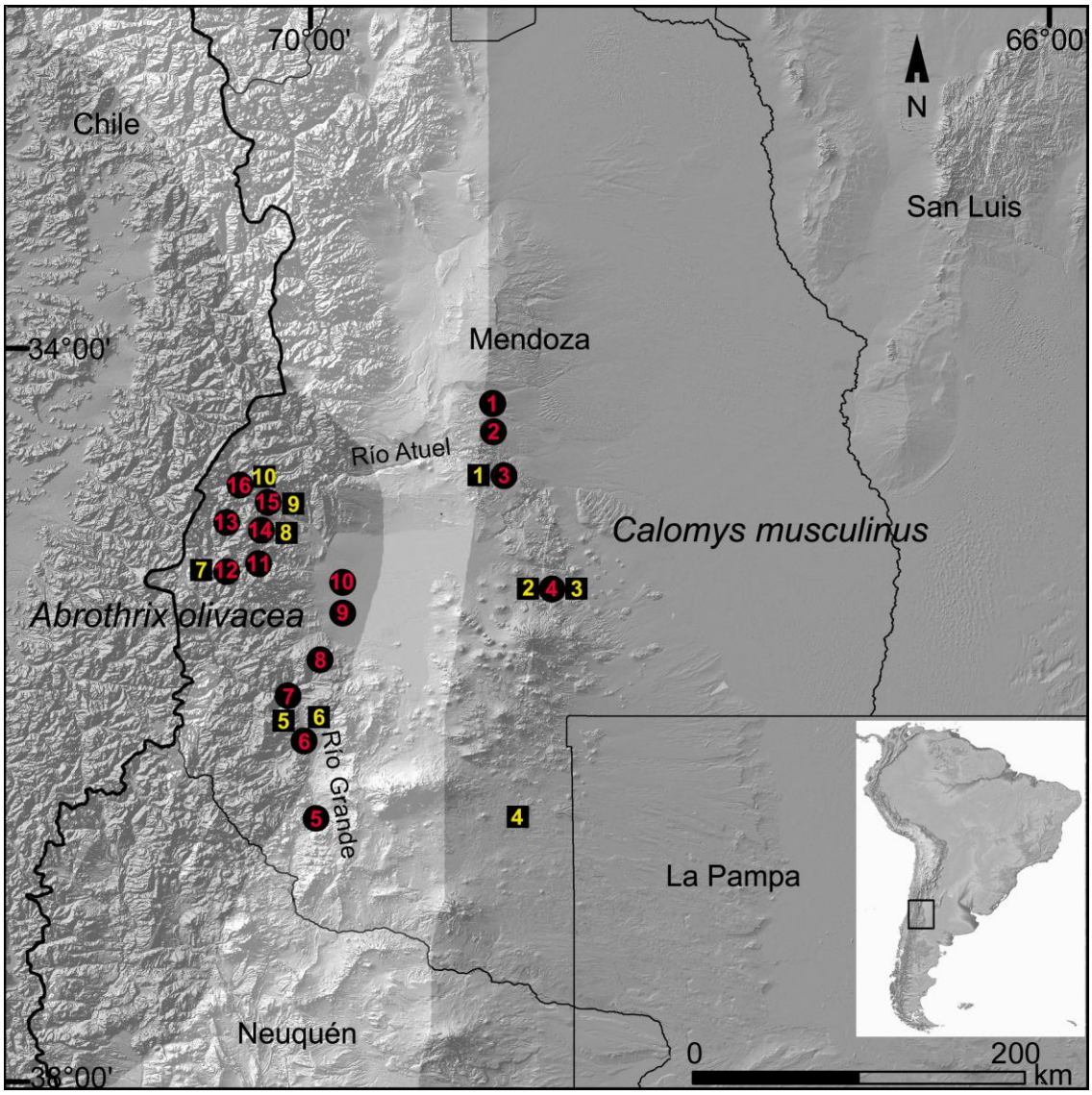


Figura 1. Mapa de Mendoza con la ubicación de los sitios arqueológicos (cuadrados con numeración en amarillo), las muestras recientes de aves rapaces (círculos con numeración en rojo) y las áreas de distribución de los roedores oportunistas *Abrothrix olivacea* y *Calomys musculinus*. La numeración de ambas muestras coincide con la expresada en el texto principal (sección Análisis de las Muestras).

RESULTADOS

La comparación general entre los conjuntos de micromamíferos recuperados de los sitios arqueológicos holocénicos del sur de Mendoza, con aquellos provenientes de las muestras actuales de aves rapaces recolectadas en las inmediaciones de los sitios arqueológicos, señala una disminución moderada en la riqueza y diversidad taxonómica en los conjuntos actuales "ver Fig. 2". Asimismo, las relaciones multivariadas (*Cluster Analysis*) entre los conjuntos arqueológicos y los actuales, exhiben un agrupamiento diferenciado entre los mismos "ver Fig. 3", lo que indica una discontinuidad en las

estructuras taxonómicas desde las comunidades de micromamíferos holocénicas a las comunidades modernas.

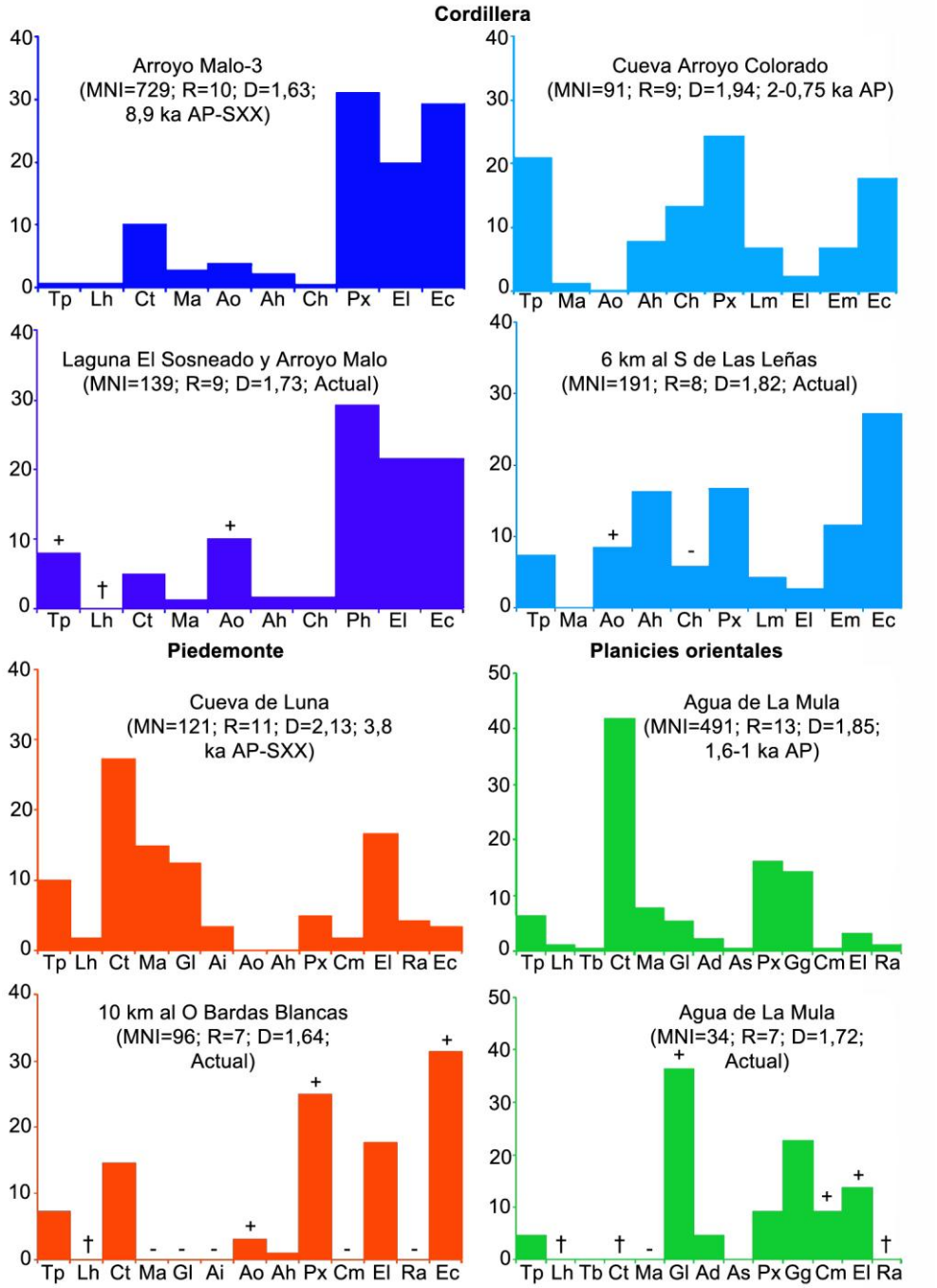


Figura 2. Comparación en la abundancia de micromamíferos (MNI%) entre muestras arqueológicas (arriba) y actuales (abajo) seleccionadas por área geográfica del sur de Mendoza. El signo (-) señala declinaciones en la abundancia, el signo (+) un aumento en la representación y el símbolo (†) extinciones locales. Abreviaturas: Riqueza taxonómica (R); Diversidad taxonómica (D); *Thylamys pallidior* (Tp); *Lestodelphys halli* (Lh); *Ctenomys* sp. (Ct); *Tympanoctomys barrerae* (Tb); *Microcavia australis* (Ma); *Galea leucoblephara* (Gl); *Akodon dolores* (Ad); *Akodon spegazzinii* (As); *Akodon iniscatus* (Ai); *Abrothrix olivacea* (Ao); *Abrothrix hirta* (Ah); *Chelemys macronyx* (Ch); *Phyllotis xanthopygus* (Px); *Loxodontomys micropus* (Lm); *Graomys griseoflavus* (Gg); *Calomys musculinus* (Cm); *Eligmodontia* sp. (El); *Euneomys chinchilloides* (Ec); *Euneomys mordax* (Em); *Reithrodon auritus* (Ra).

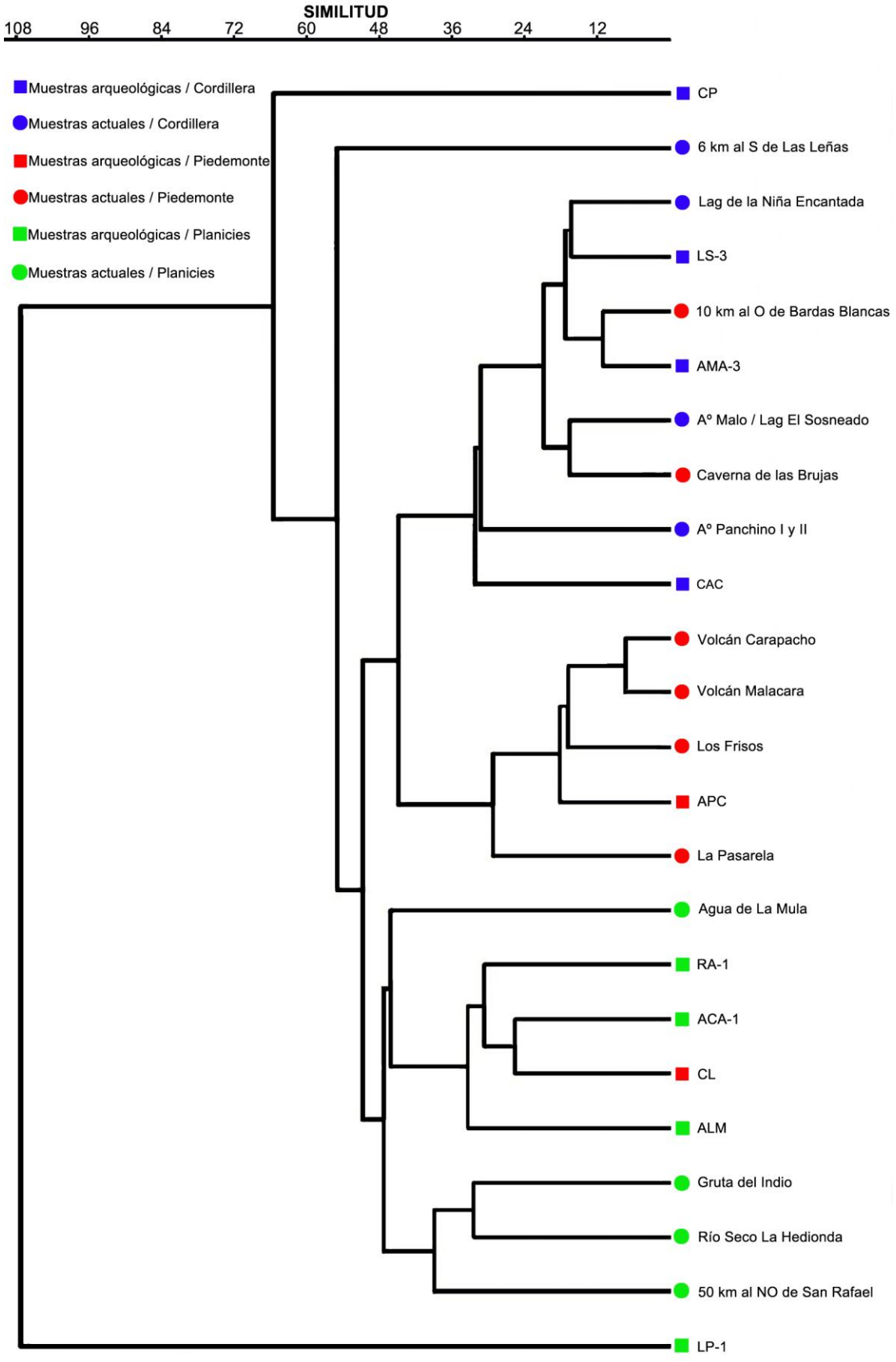

SIMILITUD
108
96
84
72
60
48
36
24
12
Muestras arqueológicas / Cordillera
Muestras actuales / Cordillera
Muestras arqueológicas / Piedemonte
Muestras actuales / Piedemonte
Muestras arqueológicas / Planicies
Muestras actuales / Planicies
CP
6 km al S de Las Leñas
Lag de la Niña Encantada
LS-3
10 km al O de Bardas Blancas
AMA-3
Aº Malo / Lag El Sosneado
Caverna de las Brujas
Aº Panchino I y II
CAC
Volcán Carapacho
Volcán Malacara
Los Frisos
APC
La Pasarela
Agua de La Mula
RA-1
ACA-1
CL
ALM
Gruta del Indio
Río Seco La Hedionda
50 km al NO de San Rafael
LP-1

Figura 3. Relaciones fenéticas entre muestras de micromamíferos arqueológicas y actuales del sur de Mendoza [matriz básica de MNI%, *Cluster Analysis*, coeficiente *Euclidean distance*, método de unión de distancias promedios entre todos los miembros de los pares de grupos (UPGMA-Unweighted pair-group average), ccc = 0,9294]. Abreviaturas de los sitios arqueológicos aclaradas en el texto principal (sección Análisis de las Muestras).

En el sector cordillerano, si bien no se observan mayores cambios en la riqueza y diversidad taxonómicas en los conjuntos de micromamíferos actuales, la extinción local del marsupial endémico de la estepa Patagónica *Lestodelphys halli* y los aumentos en las abundancias del roedor abrotriquino oportunista *A. olivacea* "ver Fig. 2", indican variaciones en las estructuras taxonómicas de los conjuntos modernos. En la misma línea, el análisis de *cluster* muestra que los conjuntos arqueológicos no se agrupan con los conjuntos actuales ubicados en las cercanías de los sitios arqueológicos "ver Figs. 1 y 3".

En el piedemonte se registran caídas de la riqueza y diversidad específica en los conjuntos actuales, junto a la ausencia de *L. halli* y la aparición de *A. olivacea* "ver Fig. 2". El análisis de *cluster* muestra que el conjunto arqueológico de APC se agrupa con los conjuntos actuales cercanos. Sin embargo, el conjunto arqueológico de CL coincide con los conjuntos arqueológicos ubicados en las planicies orientales "ver Figs. 1 y 3", posiblemente debido a que el conjunto de micromamíferos de CL está integrado tanto por especies afines a la estepa Patagónica como al desierto del Monte "ver Fig. 2".

Finalmente, en las planicies orientales se documentan disminuciones en los valores de riqueza y diversidad taxonómica de los conjuntos actuales, la extinción local de *L. halli*, *Reithrodon auritus* y *Ctenomys*, y los incrementos en las frecuencias de los roedores *C. musculinus*, *Eligmodontia* y *G. leucoblephara* "ver Fig. 2". En coincidencia, el análisis de *cluster* exhibe que los conjuntos arqueológicos no se agrupan con los conjuntos actuales situados en las inmediaciones de los sitios arqueológicos "ver Figs. 1 y 3", lo que sugiere diferencias marcadas entre los mismos.

DISCUSIÓN

Cuando se comparan registros zooarqueológicos con registros faunísticos modernos, pueden surgir ciertos interrogantes relacionados al cómo y por qué ocurren los cambios en las comunidades faunísticas de la actualidad. Entonces, cabe preguntarse si los cambios observados en las estructuras taxonómicas de las comunidades de micromamíferos que habitan el sur de Mendoza en la actualidad ¿obedecen a modificaciones climático-ambientales o ambientales-antrópicas? Considerando la última opción, resulta interesante indagar a cerca de ¿cómo han cambiado las comunidades de micromamíferos en la actualidad teniendo en cuenta el impacto antrópico sobre el ambiente?

Para el sur de Mendoza se indicó una estabilidad taxonómica de los conjuntos zooarqueológicos de micromamíferos desde el Holoceno temprano hasta el Holoceno tardío, con algunas variaciones hacia el tramo final del Holoceno tardío, que podrían relacionarse con el evento climático ENSO (Fernández F., 2010, 2012), como fue señalado en estudios paleoambientales en base a otros indicadores indirectos tales como polínicos, glaciológicos, sedimentológicos, dendrológicos y malacológicos (e.g., Villalba R., 1994; Zarate M. et al., 2010 y literatura allí citada). Parte de los estudios paleoambientales basados en el registro de micromamíferos recuperados de sitios arqueológicos de los tres ambientes principales del sur de Mendoza (cordillera,

piedemonte y planicies orientales), señalaron que las retracciones actuales en las geonemias de algunas especies Patagónicas como *L. halli* y *R. auritus* se debieron a aumentos de la temperatura y aridez que produjo el avance del desierto del Monte y sus elementos asociados, relegando consecuentemente a la flora y fauna Patagónica hacia la cordillera (e.g., Fernández F., 2010, 2012). Sin embargo, las extinciones locales de estas especies, junto con las caídas moderadas de las riquezas y diversidad taxonómicas y el incremento de las especies oportunistas (*C. musculinus* y *A. olivacea*) en los conjuntos actuales, nos hace replantear si esta desertificación se produjo por el evento climático mencionado o por un proceso de deterioro antrópico creciente.

Las actividades humanas tales como la construcción de represas, minería, comercio, caza furtiva, introducción de especies exóticas, agricultura, ganadería, quema intencional y deforestación, tienen un efecto significativo sobre el ambiente (e.g., Roig V., 1991). Entre ellas, la ganadería de ovicápridos (*Capra hircus* [cabra] y *Ovis aries* [oveja]) y secundariamente de bovinos (*Bos taurus* [vaca]), es una de las principales perturbaciones antrópicas que actualmente se observa en Mendoza (e.g., Guevara J. et al., 2006; Cortegoso V. et al., 2010). El sobrepastoreo, mediante el consumo de plantas, la compactación del suelo por pisoteo, la eventual quema de campos y el transporte vehicular, produce una marcada reducción de la cubierta vegetal y cambios en la composición física y química de los suelos (Butzer K., 1989; Roig V., 1991; Prieto M. y Abraham E., 2000; Asner G. et al., 2003). La disminución de las especies forrajeras (principalmente gramíneas) ha favorecido, por competencia, la expansión de especies no palatales para el ganado, incluso de plantas exóticas. Este proceso origina una mayor arbustización del área, un aumento del suelo desnudo, incremento de la erosión hídrica y eólica y una consecuente desertificación (Roig V., 1991; Prieto M. y Abraham E., 2000; Guevara J. et al., 2006). Prieto M y Abraham E. (1993-1994) proponen que entre los siglos XVII y principios del XIX el impacto antrópico sumado a los ciclos de aridez y bajas temperaturas produjo una desertificación en el área. Estos cambios importantes en el paisaje implican también modificaciones en la biodiversidad faunística asociada (Roig V., 1991; Prieto M. y Abraham E., 2000; Cortegoso V. et al., 2010; Teta P. et al., 2014). La explotación ganadera en Mendoza se remonta a fines del siglo XVI. Sin embargo, este proceso no tuvo el mismo impacto en las distintas áreas y a través del tiempo (Gil A. et al., 2006). Desde mediados del siglo XVII hasta fines del XVIII la ganadería se concentraba en los valles de Uco y Jaurúa. En 1805 la expansión de la frontera colonial hasta el Río Atuel, con la fundación el Fuerte de San Rafael se aseguró la actividad ganadera en esta área (Cortegoso V. et al., 2010 y bibliografía allí citada). Gil A. et al. (2006) en base a un análisis arqueofaunístico integral de numerosos sitios arqueológicos, plantean que el ganado habría sido abundante recién a partir del siglo XIX y hacia finales del mismo, habría sido el recurso faunístico más importante del área, produciendo cambios substanciales en el ecosistema, principalmente en la fauna autóctona.

Estudios realizados en Patagonia demostraron que las poblaciones de *Ctenomys* eran muchos más abundantes en el registro fósil del Pleistoceno / Holoceno, incluso hasta comienzos del siglo XX, respecto a la actualidad (e.g., Pardiñas U. et al., 2012; Pardiñas U. y Teta P., 2013 Teta P. et al., 2014). Las poblaciones Patagónicas de este roedor fosorial se encuentran en franco retroceso desde la introducción del ganado ovino, el cual mediante el pisoteo y la eventual compactación del suelo, produce la destrucción de las galerías subterráneas (e.g., Pardiñas U. et al., 2012; Pardiñas U. y Teta P., 2013 Teta P. et al., 2014). Esta situación también pudo ocurrir en el sur de

Mendoza y de este modo, podría explicar la mayor abundancia de este roedor en los sitios arqueológicos respecto a los conjuntos actuales.

Como se ha documentado en numerosas partes del mundo y en Argentina, el avance de la frontera agropecuaria también ocasiona cambios en las comunidades faunísticas e incremento de especies oportunistas (e.g., Teta P. et al., 2014). Por un lado, *C. musculinus* es un filotino oportunista con amplia distribución en las tierras bajas de Argentina y del sur de Mendoza, donde habita en las planicies orientales asociadas a una vegetación arbustiva del desierto del Monte "ver Fig. 1". Por el otro, *A. olivacea* es un abrotriquino oportunista con distribución Andino-Patagónica, encontrándose en el sur de Mendoza en la zona de piedemonte y alta cordillera, asociado a vegetación Patagónica y Altoandina "ver Fig. 1". En este trabajo, se observa que los porcentajes de *C. musculinus* y *A. olivacea* en las áreas mencionadas son mayores en las muestras actuales respecto de las muestras arqueológicas. Aunque se destaca que los mismos no alcanzaron los niveles altos registrados en otras regiones de Argentina, como se detalla a continuación.

Los conjuntos actuales en la Región Pampeana presentan diversidades y riquezas taxonómicas muy pobres comparados con el registro fósil del Holoceno, en virtud de la amplia dominancia de *Calomys* spp., *O. flavescens* y *Akodon azarae* (e.g., Pardiñas U. et al., 2004; Teta P. et al., 2010; Fernández F. et al., 2012). La información disponible sobre el registro fósil del Holoceno muestra frecuencias de *Calomys* spp. con niveles mínimos en comparación con otras especies, que desde los siglos XIX y XX se encuentran en proceso de retracción (e.g., *R. auritus*, *Necromys lasiurus*) o regionalmente extinguidas (e.g., *Bibimys torresi* y *Pseudoryzomys simplex*) (e.g., Scheifler N. et al., 2012; Teta P. et al., 2013, 2014). Asimismo, estudios genéticos (e.g., González-Ittig R. et al., 2007) y ecológicos (Bilenca D. y Kravetz F., 1995), confirman la hipótesis de esta reciente expansión geográfica de las poblaciones de *C. musculinus* y *C. laucha*.

Una situación similar se observó en los conjuntos de micromamíferos del centro y este de la Región Patagónica, donde taxones oportunistas como *C. musculinus* y *Oligoryzomys longicaudatus* dominan las muestras actuales en comparación con los registros del Holoceno, donde también se ocasionaron extinciones locales (*L. micropus*, *A. hirta* y *Notiomys edwardsii*) (Pardiñas U. et al., 2011, 2012; De Tommaso D. et al., 2014; Teta P. et al., 2014). Como un ejemplo de esto, *C. musculinus* alcanzó frecuencias muy altas (>95%) cerca de la desembocadura del Río Chubut (Pardiñas U. et al., 2000). En tanto, en áreas de la estepa Patagónica del sector oeste y a lo largo del Río Santa Cruz, *A. olivacea* y *Eligmodontia* spp. exhibieron incrementos notables de sus frecuencias en conjuntos actuales (e.g., Cueto G. et al., 2008; Pardiñas U. et al., 2011). Otro caso parangonable, es la disminución abrupta de *Euneomys* spp. en conjuntos actuales de algunos sectores del noroeste Patagónico, después de ca. 10 ka de dominancia (Pearson O., 1987; Pardiñas U. et al., 2011; Pardiñas U. y Teta P., 2013). En toda la región Patagónica, aparte de la influencia de la ganadería ovina (desde fines del siglo XVIII) y los extensos campos cultivados (desde el siglo XIX), estos cambios estuvieron vinculados a eventuales alteraciones de los regímenes de quemas de ambientes, desertificación e introducción de especies exóticas animales y vegetales (Pardiñas U. et al., 2011).

Finalmente, en la Región Puneña se registró menor diversidad específica, incrementos importantes en las frecuencias de *Eligmodontia puerulus* y aumentos moderados de *C. musculinus* (ca. 15%) en conjuntos actuales de micromamíferos comparados con los

registros fósiles del Pleistoceno y Holoceno, en congruencia con algunas extinciones locales (e.g., Teta P. y Ortiz P., 2002; Ortiz P. et al., 2011).
No obstante, a pesar de que los conjuntos actuales de micromamíferos del sur de Mendoza presentaron evidencias de cambios en sus estructuras taxonómicas (medidas en riqueza, abundancia y diversidad) producto de la modificación antrópica, esta reestructuración no fue tan marcada como en las demás regiones mencionadas.

CONCLUSIONES

La comparación entre los conjuntos zooarqueológicos holocénicos y actuales de micromamíferos del sur de Mendoza, mostraron una discontinuidad en las estructuras taxonómicas. En la actualidad las comunidades de micromamíferos se han reestructurado, debido al deterioro ambiental posiblemente producido por la acción del ganado doméstico (principalmente de ovicápridos), afianzado en el sur de Mendoza desde el siglo XIX. Esta alteración antrópica pudo originar disminuciones moderadas en las diversidad y riqueza taxonómicas de los conjuntos actuales de micromamíferos y favorecer el incremento de especies oportunistas como *C. musculinus* en las llanuras y *A. olivacea* en la cordillera, en detrimento de otras como *L. halli*, *Ctenomys* y *R. auritus*. Sin embargo, la reestructuración de las comunidades de micromamíferos que habitan actualmente en el sur de Mendoza no fue tan pronunciada como en otras regiones de Argentina (e.g., Patagónica, Pampeana y Puneña).

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Gustavo Neme, Adolfo Gil, Víctor Durán, Clelia Mosto y †Humberto Lagiglia por ceder algunas muestras de micromamíferos para realizar el presente trabajo. También lo hago extensivo a Luciano De Santis y Ulyses Pardiñas por sus sugerencias y comentarios en las primeras etapas de esta investigación y a Manuel López por la lectura crítica del manuscrito. El trabajo fue financiado económicamente por la UNLP y el CONICET.

REFERENCIAS

Asner G., Borghi C. y Ojeda R., 2003. Desertification in central Argentina: changes in ecosystem carbon and nitrogen from imaging spectroscopy, *Ecological Applications*, **13**, 629-648.
Bilenca D. y Kravetz F., 1995. Patrones de abundancia relativa en ensambles de pequeños roedores de la Región Pampeana, *Ecología Austral*, **5**, 21-30.
Butzer K., 1989. *Arqueología: una ecología del hombre*, Ediciones Bellaterra, Barcelona.
Cabrera A., 1976. Regiones fitogeográficas argentinas, *Enciclopedia Argentina de Agricultura y Jardinería*, **1**, 1-85.
Cueto G., Teta P. y De Carli P., 2008. Rodents from southern Patagonian semi-arid steppes (Santa Cruz Province, Argentina), *Journal of Arid Environments*, **72**, 56-61.
Capitanelli R., 1972. Geomorfología y Clima de la provincia de Mendoza, En Roig F., (ed.), *Geología, Geomorfología, Climatología, Fitogeografía y Zoogeografía de la provincia de Mendoza, Reedición especial del Boletín de la Sociedad Argentina de Botánica*, **8**, 15-48.
Cortegoso V., Durán V., Pelagatti O. y Lucero G., 2010. La cría y tráfico de ganado mayor como factores de cambio ambiental en la cordillera central y piedemonte oriental de Mendoza (siglos XVII a XX). Una aproximación arqueológica e histórica, En Zárate M., Gil A. y Neme G. (eds.), *Condiciones paleoambientales y ocupaciones humanas durante la transición Pleistoceno–*

Holoceno y Holoceno de Mendoza, pp. 277-308, Publicaciones de la Sociedad Argentina de Antropología, Buenos Aires.
De Tommaso D., Formoso A., Teta P., Udrizar Sauthier D. y Pardiñas U., 2014. Distribución Geográfica De *Calomys musculinus* (Rodentia, Sigmodontinae) en Patagonia, *Mastozoología Neotropical*, **21**, 121-127.
Fernández F., 2010. Paleozoogeography of the wine mouse (*Akodon oenos*) & late Holocene paleoenvironments in south-central of Mendoza, Argentina, *Ethnobiology Letters*, **1**, 52-57.
Fernández F., 2012. *Microvertebrados del Holoceno de sitios arqueológicos en el sur de Mendoza (República Argentina): aspectos tafonómicos y sus implicancias en la subsistencia humana*, Tesis Doctoral, Facultad de Ciencias Naturales y Museo, Editorial de la Universidad Nacional de La Plata, La Plata.
Fernández F., Carrera J., García-Esponda C., Moreira G. y De Santis L., 2009a. Micromamíferos registrados en tres localidades del centro-oeste de Mendoza (Didelphimorphia y Rodentia), *Multequina*, **18**, 3-14.
Fernández F., Moreira G., Neme G. y De Santis L., 2009b. Microvertebrados exhumados del sitio arqueológico "Cueva Arroyo Colorado" (Mendoza, Argentina): aspectos tafonómicos y significación paleoambiental, *Archaeofauna*, **18**, 99-118.
Fernández F., Idoeta F., García-Esponda C., Carrera J., Moreira G., Ballejo F. y De Santis L., 2012. Micromammals (Didelphimorphia, Rodentia and Chiroptera) from Pampean Region, Argentina, *Check List*, **8**, 130-134.
Gasco A., Rosi M. y Durán V., 2006. Análisis arqueofaunístico de microvertebrados en "Caverna de las Brujas" (Malargüe-Mendoza-Argentina), *Anales de Arqueología y Etnología, Volumen especial*, **61**, 135-162.
Gil A., Neme G. y Durán V., 2006. Explotación faunística e incorporación de ganado doméstico euroasiático: el registro arqueológico en la frontera nordpatagónica, *Comechingonia*, **9**, 5-18.
González-Ittig R., Patton J. y Cardenal C., 2007. Analysis of cytochrome-b nucleotide diversity confirms a recent range expansion in *Calomys musculinus* (Rodentia, Muridae), *Journal of Mammalogy*, **88**, 777-783.
Guevara J., Estevez O. y Stasi C., 2006. Respuesta de la vegetación en un gradiente de intensidad de pastoreo en Mendoza, Argentina, *Multequina*, **15**, 27-36.
Massoia E., Chebez, J. y Fortabat, D. 1994. La depredación de algunos mamíferos por *Bubo virginianus* en el Departamento de Malargüe, Mendoza, *Aprona, Boletín Científico*, **26**, 2-5.
Massoia E., Reboledo C. y Dieguez A., 1997. Análisis de bolos de *Tyto alba* del Río Seco La Hedionda, Depto. San Rafael, Mendoza, *Aprona, Boletín Científico*, **31**, 2-7.
Nabte M., Saba S. y Pardiñas U., 2006. Dieta del búho magallánico (*Bubo magellanicus*) en el Desierto del Monte y la Patagonia Argentina, *Ornitología Neotropical*, **17**, 27-38.
Ortiz P., Jayat P. y Pardiñas U., 2011. Fossil sigmodontine rodents of northwestern Argentina: taxonomy and paleoenvironmental meaning, En Salfity J. y Marquillas R. (eds.), *Cenozoic geology of the Central Andes of Argentina*, pp. 301-315, SCS Publisher, Salta.
Pardinas U. y Teta P., 2005. Roedores Sigmodontinos del Chaco Húmedo de Formosa: aspectos taxonómicos y distribución geográfica, En Di Giacomo A. y Krapovickas S. (eds.), *Historia natural y paisaje de la Reserva El Bagual, Provincia de Formosa, Argentina. Inventario de la fauna de vertebrados y de la flora vascular de un área protegida del Chaco Húmedo, Temas de Naturaleza y Conservación 4*, pp. 501-517, Asociación Ornitológica del Plata, Buenos Aires.
Pardiñas U. y Teta P., 2006. Roedores sigmodontinos de la provincia de Misiones: estado actual de su conocimiento nomenclatural y taxonómico, En Massoia E., Chebez J. y Bosso A. (eds.), *Los mamíferos silvestres de la provincia de Misiones, Argentina*, pp. 483-490, Ediciones de los Autores, Buenos Aires.
Pardiñas U. y Teta P., 2013. Holocene stability and recent dramatic changes in micromammalian communities of northwestern Patagonia, *Quaternary International*, **305**, 127-140.
Pardiñas U., Moreira G., García-Esponda C. y De Santis L. 2000. Deterioro ambiental y micromamíferos durante el Holoceno en el nordeste de la estepa patagónica (Argentina), *Revista Chilena de Historia Natural*, **73**, 541-556.

Pardiñas U., Abba A. y Merino M., 2004. Micromamíferos (Didelphimorphia y Rodentia) del sudoeste de la provincia de Buenos Aires (Argentina): taxonomía alfa y distribución, *Mastozoología Neotropical*, **11**, 211-232.
Pardiñas U., Teta P. y Udrizar Sauthier D., 2008. Mammalia, Didelphimorphia and Rodentia Southwest of the province of Mendoza, Argentina, *Check List*, **4**, 218-225.
Pardiñas U., Teta P., D'Elía G. y Lessa E., 2011. The evolutionary history of sigmodontine rodents in Patagonia and Tierra del Fuego, *Biological Journal of the Linnean Society*, **103**, 495-513.
Pardiñas U., Udrizar Sauthier D. y Teta P., 2012. Micromammal diversity loss in central-eastern Patagonia over the last 400 years, *Journal of Arid Environments*, **85**, 71-75.
Pearson O., 1987. Mice and the postglacial history of the Traful valley of Argentina. *Journal of Mammalogy*, **68**, 469-478.
Prieto M. y Abraham E., 1993-1994. Indios, chilenos y estancieros en el sur de Mendoza. Historia de un proceso de desertificación, *Anales de Arqueología y Etnología*, **48**-**49**, 11-29.
Prieto M. y Abraham E., 2000. Caminos y comercio como factores de cambio ambiental en las planicies áridas de Mendoza (Argentina) entre los siglos XVII y XIX, *Theomai*, **2**, http://www.unq.edu.ar/revista-theomai/numero2/index.htm.
Roig V., 1991. Desertification and distribution of mammals in the southern cone of South America, En Mares M. y Schmidly D. (eds.), *Latin American Mammalogy*, pp. 239-279, University of Oklahoma Press, Norman and London.
Scheifler N., Teta P., Pardiñas U., 2012. Small mammals (Didelphimorphia and Rodentia) of the archaeological site Calera (Pampean region, Buenos Aires Province, Argentina): taphonomic history and Late Holocene environments, *Quaternary International*, **278**, 32-44.
Teta P. y Ortiz P., 2002. Micromamíferos andinos holocénicos del sitio arqueológico Inca Cueva 5, Jujuy, Argentina: tafonomía, zoogeografía y reconstrucción paleoambiental, *Estudios Geológicos*, **58**, 117-135.
Teta P., Gonzáles-Fischer C., Codecido M. y Bilenca D., 2010. A contribution from Barn Owl Pellets analisys to known micromammalian distributions in Buenos Aires province, Argentina, *Mammalia*, **74**, 97-103.
Teta P., Pardiñas U., Silveira M., Aldazabal V. y Eugenio E., 2013. Roedores sigmodontinos del sitio arqueológico "El Divisadero Monte 6" (Holoceno Tardío, Buenos Aires, Argentina): taxonomía y reconstrucción ambiental, *Mastozoología Neotropical*, **20**, 171-177.
Teta P., Formoso A., Tammone M., De Tommaso D., Fernández F., Torres J. y Pardiñas U., 2014. Micromamíferos, cambio climático e impacto antrópico: ¿Cuánto han cambiado las comunidades del sur de América del Sur en los últimos 500 años?, *Therya*, **5**, 7-38.
Villalba R., 1994. Fluctuaciones climáticas en latitudes medias de América del Sur durante los últimos 1000 años: sus relaciones con la Oscilación del Sur, *Revista Chilena de Historia Natural*, **67**, 453-461.
Zárate M., Gil A. y Neme G., 2010. Integrando los registros: generalizaciones, alcances y limitaciones, En Zárate M., Gil A. y Neme G. (eds.), *Condiciones paleoambientales y ocupaciones humanas del centro-oeste de Argentina durante la transición Pleistoceno-Holoceno y Holoceno de Mendoza*, pp. 309-330, Sociedad Argentina de Antropología, Buenos Aires.

RELACIÓN ENTRE LA EROSIÓN HÍDRICA Y LAS CARACTERÍSTICAS GEOLÓGICAS EN EL CANAL 15, CUENCA DEL SALADO (BUENOS AIRES)

García L. [a,b], *Borzi G.* [a,c], *Carol E.* [a,c]

[a] *Cátedra de Hidrología General de la Facultad de Ciencias Naturales y Museo, FCNyM, Universidad Nacional de La Plata, ARGENTINA*
[b] *Agencia Nacional de Promoción Científica y Tecnológica, ARGENTINA*
[c] *Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas, CONICET, ARGENTINA*

e-mail: leanezegarcia@gmail.com

RESUMEN

La cuenca inferior del Río Salado se desarrolla en una planicie continental loéssica que pasa en el último tramo a un ambiente de planicie costera. El cauce natural del río, cuando ingresa en la planicie costera de escasa pendiente topográfica y gradiente hídrico, labra una amplia planicie de inundación con meandros. Las recurrentes inundaciones que suceden en la cuenca del río condujeron a la realización de numerosas canalizaciones desde principios del siglo XX. El Canal 15 es la principal canalización que rectifica el drenaje del río cuando éste ingresa en la zona de planicie costera, atravesando áreas elevadas de planicie loéssica y cordones conchiles. El objetivo del trabajo es identificar los sectores del canal afectados por problemas de erosión hídrica y evaluar la relación que estos procesos tienen con las características geológicas de las geoformas que corta. Para ello se realizaron relevamientos de campo para observar la morfología de las paredes del canal y determinar la respuesta de los distintos tipos de sedimentos frente a la acción hídrica. Posteriormente se analizaron fotografías aéreas e imágenes satelitales con la finalidad de evaluar los cambios de la traza del canal en el tiempo. Los resultados obtenidos evidencian que en las zonas con morfologías elevadas compuestas principalmente por sedimentos arenosos con conchillas se produce mayor erosión hídrica, la cual ocurre en la parte basal de las paredes del canal, ocasionando su posterior desmoronamiento. Estos procesos de erosión han afectado los caminos paralelos al canal, adquiriendo mayor gravedad en la localidad de Cerro de la Gloria ubicada en la margen derecha del canal próximo a su desembocadura. Comprender los procesos que regulan la estabilidad de las paredes del canal es de vital importancia para generar pautas que minimicen la remoción de material que afecta a las obras viales y a la población adyacente.

INTRODUCCIÓN

Los registros de precipitaciones históricas en la cuenca del río Salado evidencian la existencia de una alternancia de ciclos de sequías e inundaciones (Scarpati et al. 2011). Durante los eventos extremos de precipitaciones y debido a que en superficie dominan sedimentos poco permeables, se produce un escurrimiento mantiforme hacia las vías de drenaje que, por su baja capacidad de conducción, desbordan en todo su curso. Asimismo, las zonas deprimidas y lagunas se colmatan ocasionando extensas áreas anegadas.

Desde la gran inundación de 1884, numerosos estudios analizaron los eventos extraordinarios de excesos hídricos con el fin de buscar soluciones a los problemas de inundaciones. Ameghino (1884), con una visión más naturista y evaluando la alternancia de ciclos climáticos, propuso en épocas de inundaciones retener el agua en depresiones para ser utilizada en los períodos de sequías. Desde un punto de vista más ingenieril, los proyectos Nystromer, Waldorp y Mercau, entre otros (Posadas, 1934) plantean drenar la cuenca a través de numerosas canalización, propuesta que fue ejecutada desde principios del siglo XX. A pesar de la magnitud de las obras, los acontecimientos históricos han demostrado que los canales no atenuaron los anegamientos e inundaciones de alcance regional.

Se han registrado eventos de lluvia de corta duración pero gran intensidad, por ejemplo en los años 1915 (del 21 al 24 de febrero) y 1922 (15 al 16 de agosto), los que generaron importantes anegamientos (Posadas, 1933). La inundación de 1980, que comenzó en el mes de abril y se prolongó hasta aproximadamente el mes de septiembre, afectó mayormente a la cuenca inferior del río. A diferencia del evento anterior, durante 2001-2002 se han presentado las condiciones más severas dentro del tramo superior del río, a consecuencia de las precipitaciones extraordinarias producidas en la región noroeste (DISOPH, 2003).

La recurrencia de estos eventos extraordinarios de inundaciones pese a las obras realizadas condujeron a la realización de distintos planes de evaluación para mitigar sus impactos negativos, tales como los desarrollados por el Ministerio de Obras Públicas en 1956 o el Plan Maestro Integral para la cuenca del río Salado (Halcrow, 1999) que constituye el estudio más reciente a nivel de cuenca.

El Canal 15 (ver Fig. 1) construido a principios del siglo XX es la principal canalización que rectifica el drenaje del río en la cuenca inferior. El objetivo del trabajo es identificar los sectores del canal afectados por problemas de erosión hídrica y evaluar la relación que estos procesos tienen con las características geológicas de las geoformas que corta.

ÁREA DE ESTUDIO

La configuración geológica y geomorfológica de la zona estudiada tiene lugar durante el Cuaternario. En el sector más continental de la cuenca baja, el río Salado labra su curso, sobre una llanura formada por sedimentos loéssicos denominados Sedimentos Pampeanos (González Bonorino, 1965), a los que se asocian geoformas de mantos (Fm. La Postrera) y médanos (Fm. La Petrona) más jóvenes. Áreas deprimidas y márgenes de cursos se encuentran ocupados por facies fluviales y lacustres asignadas al aluvio (Fidalgo et al. 1973 a, b, Colado et al. 1995).

En los sectores litorales de la cuenca, antes de desembocar en la Bahía de Samborombón, el río atraviesa depósitos de planicie costera (Fm. Pascua y Fm. Las Escobas) originados como consecuencia de los sucesivos desplazamientos de la línea de costa debidos a las oscilaciones cuaternarias del nivel del mar (Violante et al. 2001). La Fm. Pascua está compuesta por sedimentos arcillo arenosos asociados a ambientes de llanuras de marea y por arenas y conchillas de ambientes litorales. La Fm. Las Escobas se divide en cuatro ambientes deposicionales (Fidalgo et al. 1973, Fucks 2008) (ver Fig. 1 y 2).

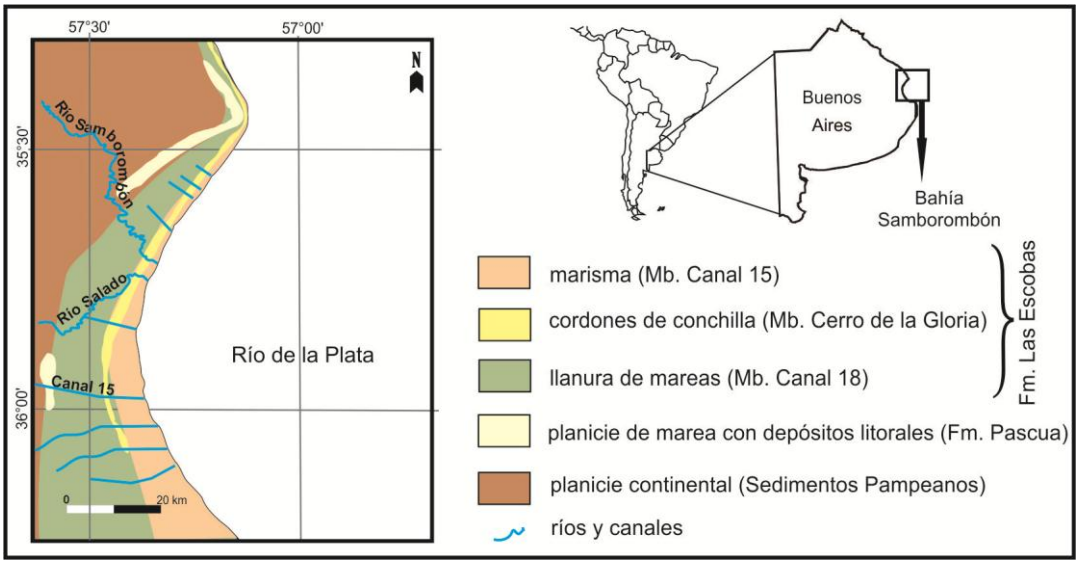


Figura 1: Ubicación y mapa geológico del área de estudio.

El más antiguo corresponde a un ambiente intermareal de llanura costera de baja energía, el cual está formado por sedimentos arcillosos a arcillo arenosos (Mb. Destacamento Río Salado). Por encima, se depositan en los sectores continentales, sedimentos areno limosos con intercalaciones de arcillas de ambientes de llanura de marea (Mb. Canal 18). Luego, las condiciones deposicionales cambian a ambientes de playa de alta energía dando lugar a la formación de cordones conchiles relacionados a condiciones de tormenta (Mb. Cerro de la Gloria). Estos cordones son geoformas sobre elevadas compuestas por restos sueltos de conchillas marinas que alternan en sectores con capas de arena y arcillas. La sedimentación cuaternaria culmina con los depósitos de la llanura de marea actual que grada a ambientes de marisma hacia los sectores más costeros, los cuales se componen de arcillas limosas con gran cantidad de materia orgánica (Mb. Canal 15).

El clima es templado húmedo con precipitaciones medias anuales cercanas a 1000 mm y en donde la evapotranspiración promedia los 770 mm anuales (Pousa et al., 2011). Las inundaciones y crecidas que ocurren en la cuenca baja del río como consecuencia de los eventos extremos de precipitaciones son principalmente drenados a la bahía por el canal 15. Este canal desvía en forma recta más del 90% del caudal del río cuando el cauce ingresa en la planicie costera, atravesando áreas elevadas de planicie loéssica y cordones conchiles. Por ejemplo, durante las inundaciones acontecidas en 2001 el río Salado registra un caudal de 1300 m^3/s en la llanura loéssica antes de ser interceptado por el canal 15, midiéndose para el mismo momento en dicho canal caudales de 1100 m^3/s (DISOPH, 2003).

MÉTODOS

Una evaluación de las características geológicas y de las unidades geomorfológicas que atraviesa la traza del canal 15 se efectuó a partir de información antecedente, interpretación de imágenes satelitales y relevamientos de campo. Las observaciones de

campo tuvieron como fin analizar la morfología de las paredes del canal, ubicar sectores de erosión y determinar la respuesta de los distintos tipos de sedimentos frente a la acción hídrica.
Por medio de la utilización de cartas topográficas, fotografías aéreas e imágenes satelitales se analizaron los cambios de la traza del canal en el tiempo. Las cartas topográficas a escala 1:50.000 confeccionadas en 1965 se utilizaron para conocer la morfología del terreno. La evolución en el tiempo de la extensión del área afectada por erosión hídrica se realizó mediante la interpretación de fotografías aéreas de 1984, imágenes satelitales procedentes del satélite QuickBird tomadas desde el Google Earth y relevamientos de campo. También se utilizaron fotografías de distintos años para ver la evolución de los rasgos erosivos.

RESULTADOS

La traza del canal 15 atraviesa en un primer tramo la llanura continental loéssica y luego la antigua llanura de mareas correspondiente al Mb. Canal 18, los cordones de conchilla del Mb. Cerro de la Gloria y la marisma en donde aflora el Mb. Canal 15 (ver Fig. 2 y 3). En todos los casos las paredes laterales del canal son verticales con alturas superiores a los 2 m. En las proximidades de la localidad de Cerro de la Gloria la antigua llanura de mareas está compuesta por sedimentos limosos a arcillosos hacia el sector oeste que pasan a limos arenosos hacia el este. Los rasgos de erosión hídrica presentes en las zonas de sedimentos limosos a arcillosos se asocian en desmoronamientos de las paredes de escasas dimensiones, mientras que en los sectores más arenosos los desmoronamientos son más acentuados (ver Fig. 2 y punto a y b de la Fig. 3).

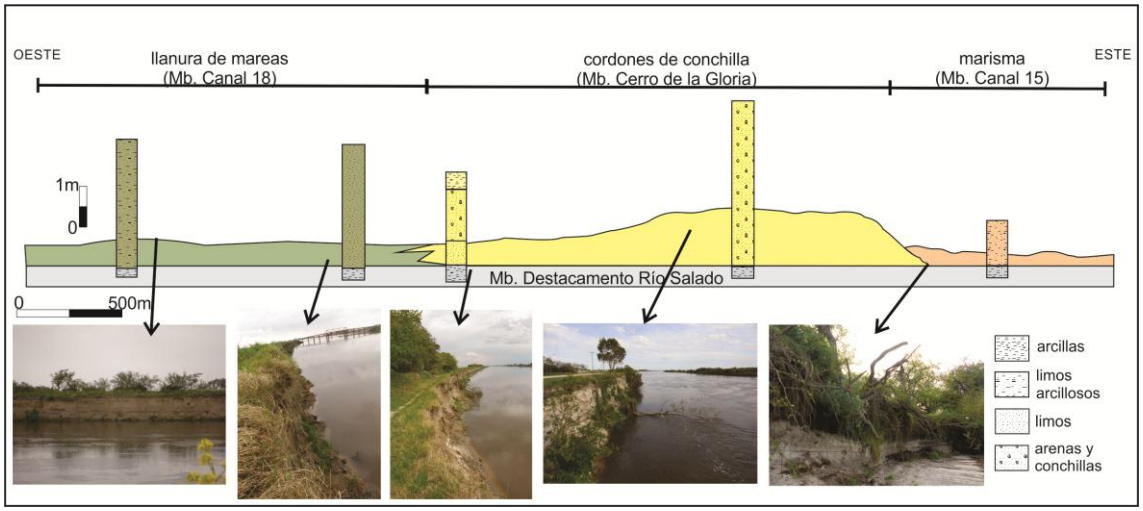


Figura 2: Perfil geológico – geomorfológico a lo largo del Canal 15 mostrando fotografías de sitios donde se identificaron problemas de erosión hídrica.

Hacia el este, atraviesa el cordón de conchilla donde se ubica la mencionada localidad, el cual está compuesto por restos de conchillas en los que se intercalan bancos de

arenas. En este cordón los mayores desmoronamientos se observan en el borde oeste donde los bancos de arena son dominantes. Aquí la erosión hídrica ha producido importantes desmoronamientos en las paredes del canal seccionando al camino lateral al mismo (ver Fig. 2 y punto c de la Fig. 3). En la zona limítrofe al pueblo también se observan desmoronamientos como consecuencia del avance de la erosión y del ensanchamiento del canal hacia las zonas urbanizadas (ver punto d en la Fig. 3).
Hacia el este en la marisma la baja topografía de este ambiente hace que las paredes del canal disminuyan su altura. Los principales desmoronamientos en este ambiente ocurren en los sectores limítrofes con el cordón de conchilla donde las facies arenosas predominan sobre las facies limo arcillosas (ver Fig. 2).

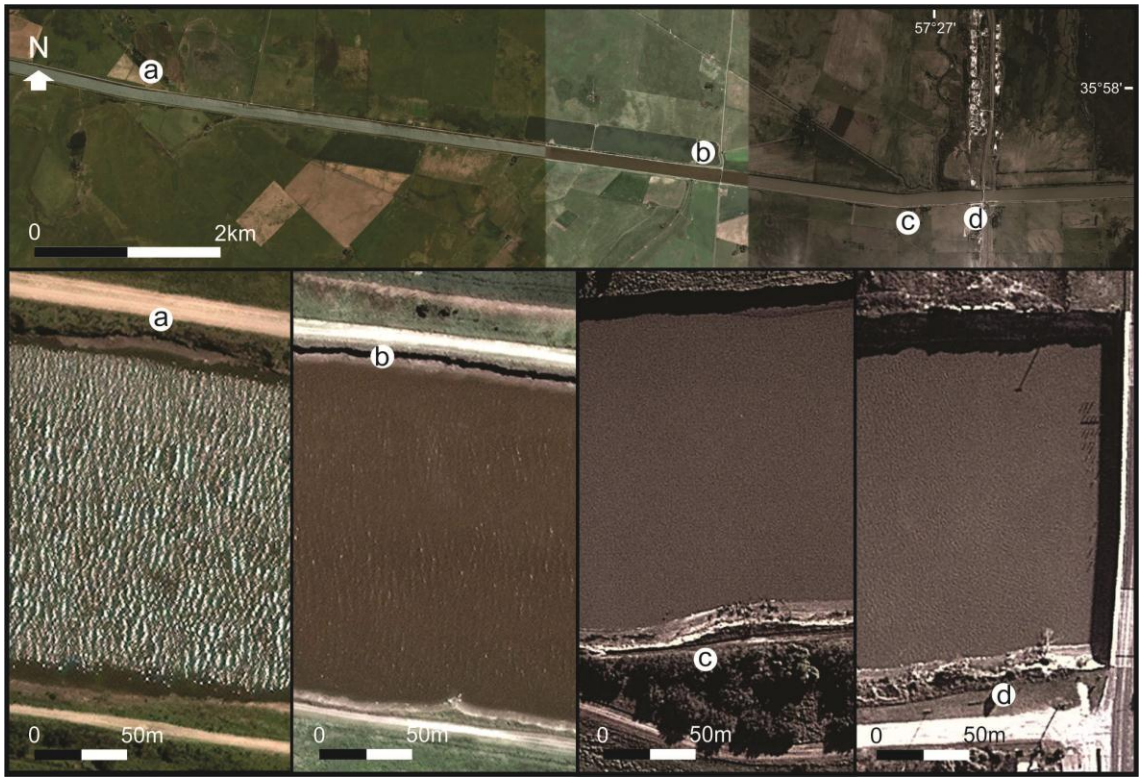


Figura 3: Imagen satelital del tramo del canal 15 estudiado mostrando detalles de zonas erosionadas.

El avance de la erosión hídrica en la localidad de Cerro de la Gloria puede observarse en las figuras 4 y 5 para diferentes años. En la figura 4a como en la figura 5 se puede ver que el retroceso de las paredes del canal entre 2010 y 2014 produjo la caída de árboles aledaños al puente de la RP 11. Situación similar se aprecia en la margen opuesta (ver Fig. 4b) donde en la comparación de las fotografías tomadas en los mismos años pueden observarse desmoronamientos en las paredes del canal. De continuar esta situación podrían verse afectados en la margen sur los pilotines más externos del puente de la ruta y una de las calles de acceso al pueblo, y en la margen norte el tendido eléctrico aledaño al canal.

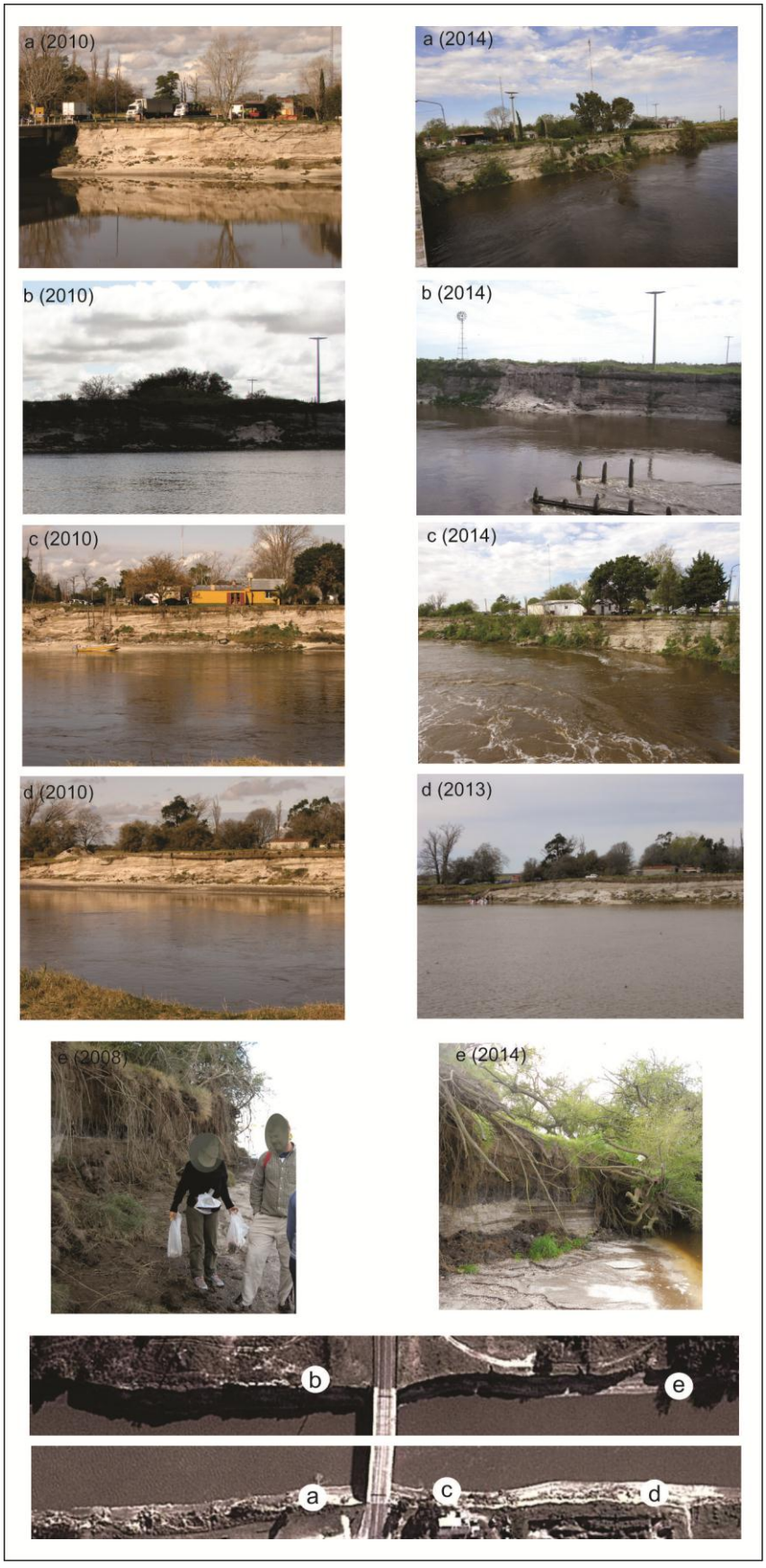


Figura 4: Fotografías mostrando sitios con erosión hídrica en distintos años.

El sector del canal ubicado al este de la RP 11 también presenta erosión hídrica con importantes desmoronamientos en sus paredes los que arrastran árboles de gran porte, tal como se muestra en las figuras 4c y 5. El avance futuro de la erosión afectará al destacamento policial cuya construcción actualmente se encuentra a pocos metros del canal. En este mismo sector la erosión ha disminuido la distancia existente entre la pared del canal y la cantera adyacente, infiriéndose una posible conexión entre ambos a futuro. Por último, de la comparación de las fotografías de 2008 y 2014 en el tramo del canal entre el cordón de conchilla y la marisma (ver Fig. 4e), se ve que la erosión que actúa sobre la base de la pared del canal ha aumentado el ángulo de pendiente con el consecuente retroceso de la margen del canal.

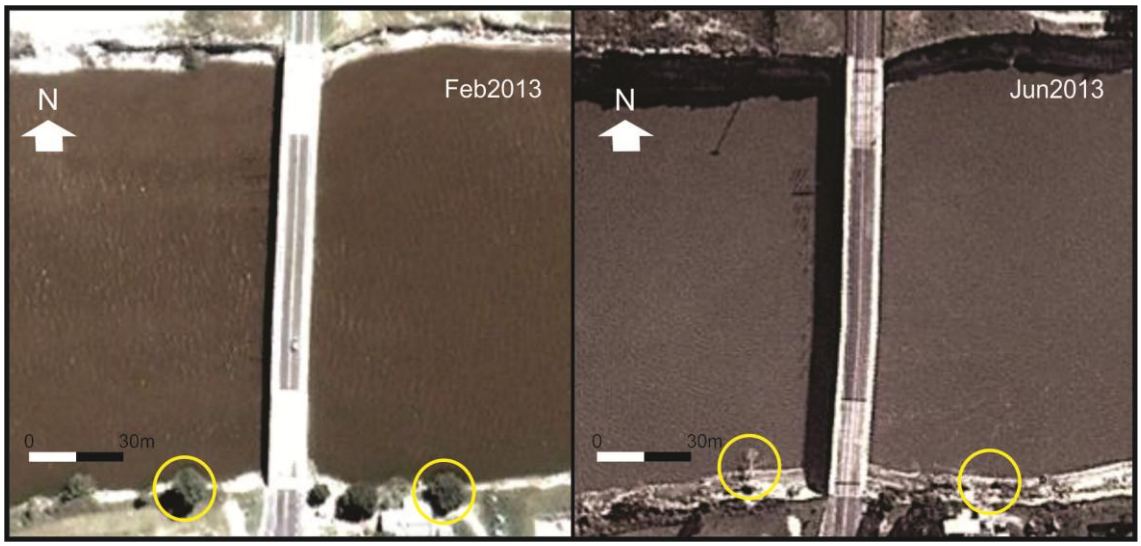


Figura 5. Imagen satelital mostrando la evolución de la margen derecha del canal 15 en las adyacencias de la localidad de Cerro de la Gloria. En círculos amarillos se indica cómo la erosión hídrica ha afectado a la vegetación.

Cabe resaltar que originalmente la sección del canal era considerablemente menor, existiendo entre este y el pueblo una distancia de 60 m (ver Fig. 6). En 1997 surge la necesidad de ensanchar el canal, disminuyendo dicha distancia a 30 m aproximadamente, la cual actualmente es en algunos sectores inferior a 15 m. Estos cambios y el avance de la erosión que produce un retroceso en las paredes del canal hacia las zonas urbanas se aprecia en la digitalización de la ubicación de la margen del canal para los años 1984, 2003, 2010 y 2013 (ver Fig. 6).

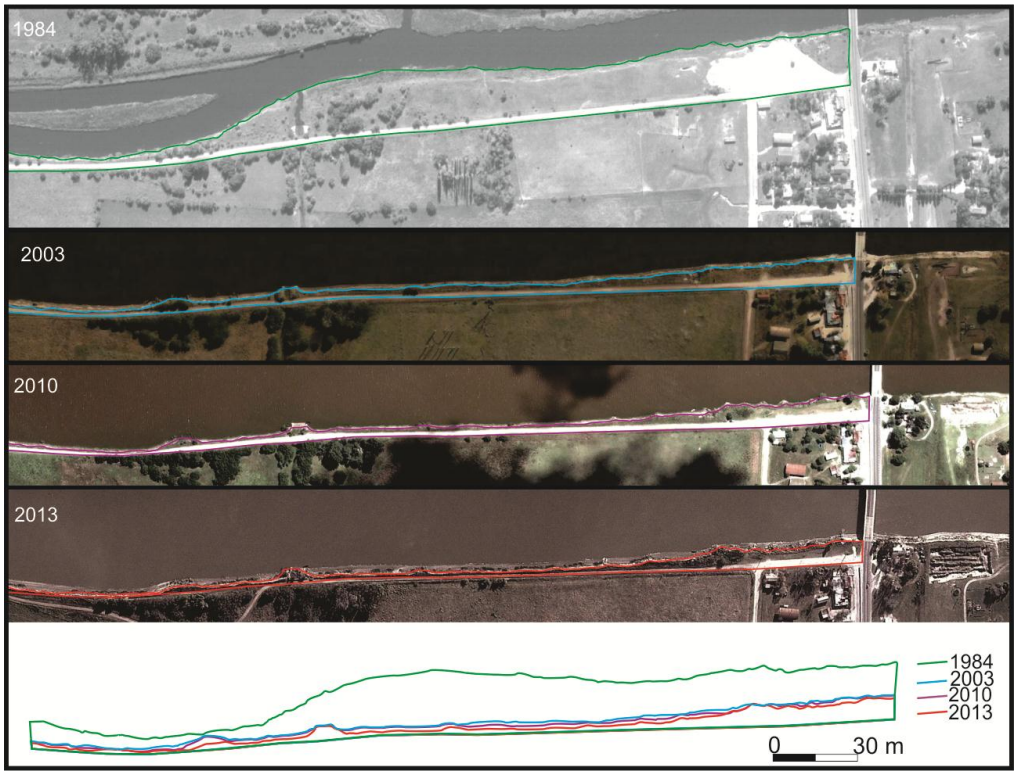


Figura 6. Imágenes satelitales mostrando el avance de la erosión hídrica y retroceso en las paredes del canal.

CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos evidencian cómo las características geológicas y geomorfológicas condicionan los procesos de erosión hídrica. Los tramos del canal que atraviesan sedimentos limosos a arcillosos de ambientes de llanura continental y llanuras de mareas presentan rasgos de erosión menos marcados. Esto se debe a la cohesión de los sedimentos limosos que contienen componentes loéssicos los cuales le dan mayor estabilidad a las paredes del canal.

En las zonas de cordones compuestas principalmente por sedimentos arenosos con conchillas se produce mayor erosión hídrica, la cual ocurre en la parte basal de las paredes del canal, ocasionando su posterior desmoronamiento. Estos procesos de erosión han afectado los caminos paralelos al canal, adquiriendo mayor gravedad en la localidad de Cerro de la Gloria ubicada en la margen derecha del canal próximo a su desembocadura.

Comprender los procesos que regulan la estabilidad de las paredes del canal es de vital importancia para generar pautas que minimicen la remoción de material que afecta a las obras viales y a la población adyacente. Los resultados presentados en este trabajo constituyen sólo una primera aproximación a la identificación de la problemática erosiva del canal, requiriéndose a futuro de estudios de detalle en relación a la morfología del cauce, corrientes y caudales en el canal, estabilidad de estructuras, etc.

REFERENCIAS

Ameghino, F., 1884. Las secas y las inundaciones en la Provincia de Buenos Aires. Obras de retención y no de desagüe, M. A. A. de la Provincia de Buenos Aires, La Plata.

DISOPH, 2003. Obras río Salado Inferior - Readecuación de la Sección del cauce del río Salado Inferior.

Fidalgo, F., U.R. Colado y F.O. De Francesco, 1973. Sobre ingresiones marinas cuaternarias en los partidos de Castelli, Chascomús y Magdalena (Provincia de Buenos Aires). *V Congreso Geológico Argentino* Actas **4**, 225-240, Villa Carlos Paz.

Fuck, E.E., Schnack, E.J., Aguirre, M.L., 2010. Nuevo ordenamiento estratigráfico de las secuencias marinas del sector continental de la Bahía Samborombón, provincia de Buenos Aires. *Revista de la Asociación Geoógica Argentina*. **67**, 27–39.

González Bonorino, F. 1965. Mineralogía de las fracciones arcilla y limo del pampeano en el área de la Ciudad de Buenos Aires y su significado estratigráfico y sedimentológico. *Revista de la Asociación Geoógica Argentina* **20**, 67-148.

Halcrow, 1999. Plan Maestro Integral de la Cuenca del Río Salado. Ministerio de Obras y Servicios Públicos de la Provincia de Buenos Aires.

Moncaut, C.A. 1957. Sequías e inundaciones en la Provincia de Buenos Aires. Diario El Día: 1 Nov 1957. P. 2. La Plata.

Posadas, C. 1933. La solución al problema de las inundaciones y desagües en la provincia de Buenos Aires. Ministerio de Obras Públicas, La Plata.

Pousa J, Kruse E, Carol E, Carretero S, Guaraglia D., 2011. Interrelation between Coastal Processes, Surface Water and Groundwater at the Outer Coastal Region of the Rio de la Plata Estuary, Argentina. Advances in Environmental Research. Nova Science Publishers. **10**, 67–96.

Scarpati, O.E., Spescha, L.B., Lay, J.A.F., Capriolo, A.D., 2011. Soil water surplus in Salado River Basin and its variability during the last forty years (Buenos Aires Province, Argentina). *Water*, **3**, 132–145.

Violante, R., Parker, G., Cavallotto, J., 2001. Evolución de las llanuras costeras del este bonaerense entre la bahía de Samborombón y la laguna de Mar Chiquita durante el Holoceno. *Revista de la Asociación Geoógica Argentina* **56**, 51–66.

MODELIZACIÓN HIDROLÓGICA CON LTHIA DE LA RELACIÓN PRECIPITACIÓN-ESCURRIMIENTO EN LA CUENCA ALTA DEL ARROYO NAPALEOFÚ, BUENOS AIRES. ARGENTINA

Gaspari, F.J. y G.E. Senisterra

Cátedra de Manejo de Cuencas Hidrográficas, FCAyF, Universidad Nacional de La Plata. ARGENTINA

e-mail. fgaspari@agro.unlp.edu.ar

RESUMEN

El modelado hidrológico es una herramienta clave para comparar los escenarios de gestión y el cambio climático en cuencas hidrográficas. LTHIA es un modelo hidrológico que se integra a interfase Sistemas de Información Geográfica para estimar el escurrimiento superficial aplicando metodologías reconocidas, como ser el número de curva (NC). Esta versión del modelo requiere mapas de uso del suelo y grupos hidrológicos para calcular el escurrimiento medio anual, a partir de una base de datos de precipitaciones diarias del área en estudio. El objetivo del trabajo fue modelar la relación precipitación – escurrimiento en diferentes escenarios de uso del suelo, de los últimos 20 años, en la cuenca alta del Arroyo Napaleofú, Provincia de Buenos Aires, Argentina. El análisis de los registros pluviométricos permitió definir la variabilidad temporal de las precipitaciones anuales y determinar tres períodos correspondientes a los escenarios estudiados. La modelación con LTHIA estableció el funcionamiento hidrológico de la cuenca, obteniendo una cartografía de la lámina de escurrimiento promedio anual a partir de la zonificación espacial automática del NC, para los escenarios de uso del suelo definidos.

Palabras Clave: escurrimiento – cuenca rural serrana - Tandil.

INTRODUCCIÓN

En la zona serrana del sudeste de la provincia de Buenos Aires, Argentina, el escurrimiento superficial provoca una decreciente producción agropecuaria, consecuencia del actual manejo del suelo, la pérdida del horizonte superficial y de la disponibilidad de agua superficial y subterránea. En las últimas décadas, dada la capacidad productiva de los suelos de esta región, los pastizales pampeanos han sido sustituidos por agroecosistemas y evidencian un importante nivel de degradación y un escaso grado de conservación (Vázquez,P y Zulaica, L., 2011). La cuenca alta del arroyo Napaleofú, situada en esta región, presenta una predominante actividad agropecuaria, que no ha estado ajena a las problemáticas del sector rural de la región

pampeana argentina de los últimos 30 años. Los recursos naturales directamente vinculados con la producción agropecuaria, que resultaron más afectados, fueron los suelos y el agua. Según Venacio, L. (2007), en esta zona, la actividad ganadera ocupa el 31% de la superficie, la agrícola representa el 39% y el resto es ocupado por otros usos, distribuidos entre actividades primarias, secundarias y terciarias.

El escurrimiento superficial es un componente del ciclo hidrológico, originado por una precipitación que cae sobre un suelo ya saturado. Esto ocurre típicamente sobre las pendientes de colinas o cerca de cursos de agua, en los cuales el suelo se satura desde abajo por el flujo subsuperficial y así mantiene condiciones cercanas a la saturación. El escurrimiento se inicia cuando el suelo y la vegetación están saturados o cuando la intensidad de la lluvia es muy superior a la intensidad o capacidad de la infiltración y además la generación de escurrimiento depende que antes se complete el agua de almacenamiento superficial. El escurrimiento superficial está directamente relacionado con los cambios de cobertura vegetal y uso del suelo en tiempo y espacio. Su cuantificación es importante en los procesos de erosión hídrica superficial, la cual genera fragilidad en los sistemas ambientales. La búsqueda de metodologías que permitan una representación simplificada del movimiento del agua sobre la superficie del suelo, es un objetivo importante en las investigaciones hidrológicas (Bustamante, E. 1984).

La modelización hidrológica es una herramienta que permite representar los diferentes procesos involucrados en la distribución de la lluvia y la generación de caudales en una determinada cuenca hidrográfica. Existen modelos hidrológicos que se integran a las interfaces de Sistemas de Información Geográfica (SIG) para estimar el escurrimiento superficial aplicando metodologías reconocidas, como ser el Número de Curva (NC). Este método, desarrollado por el Soil Conservation Service (SCS) de Estados Unidos (1972), se basa en la estimación directa del escurrimiento superficial de una lluvia aislada a partir de características del suelo, uso del mismo y de su cubierta vegetal. El modelo LTHIA (Long-Term Hydrologic Impact Assessment and Non Point Source Pollutant Model) (Harbor, S. 1984) realiza la modelización hidrológica del NC, bajo entorno SIG. LTHIA ha sido creado para evaluar las consecuencias de los cambios de uso del suelo en el escurrimiento y la contaminación de fuentes no puntuales (Engel, B et al, 2003). Expresa resultados del promedio anual del escurrimiento, basados en una datos climáticos multianuales o una tormenta extrema (Engel, B. et al, 2005). Además, del modelo requiere el uso del suelo y mapas de grupos hidrológicos para calcular el escurrimiento. LTHIA ya ha sido probado, fuera de los Estados Unidos, en Corea en dos cuencas hidrográficas con buenos resultados (Ryu, N. et al., 2001).

El objetivo del trabajo fue modelizar la relación precipitación – escorrentía en diferentes escenarios de uso del suelo, de los últimos 25 años, en la cuenca alta del Arroyo Napaleofú, Provincia de Buenos Aires, Argentina.

Los resultados proporcionan información sobre los impactos hidrológicos relativos a la dinámica hídrica para diferentes escenarios.

Los resultados de la modelización pueden ser utilizados para generar conciencia en la comunidad de potencial a más largo plazo y para apoyar la planificación física para reducir al mínimo la perturbación de áreas críticas (Engel, B. et al, 2005).

MÉTODOS

El área de estudio fue la cuenca alta del Arroyo Napaleofú situada en el sudeste de la provincia de Buenos Aires, en el sistema serrano de Tandilia, Argentina (Fig. 1). Su superficie es de 347,73 km^2 y presenta una predominante actividad agropecuaria. En ella, los recursos naturales, directamente vinculados con la producción agropecuaria, como son los suelos y el agua, han sido afectados por estas labores y el cambio climático.

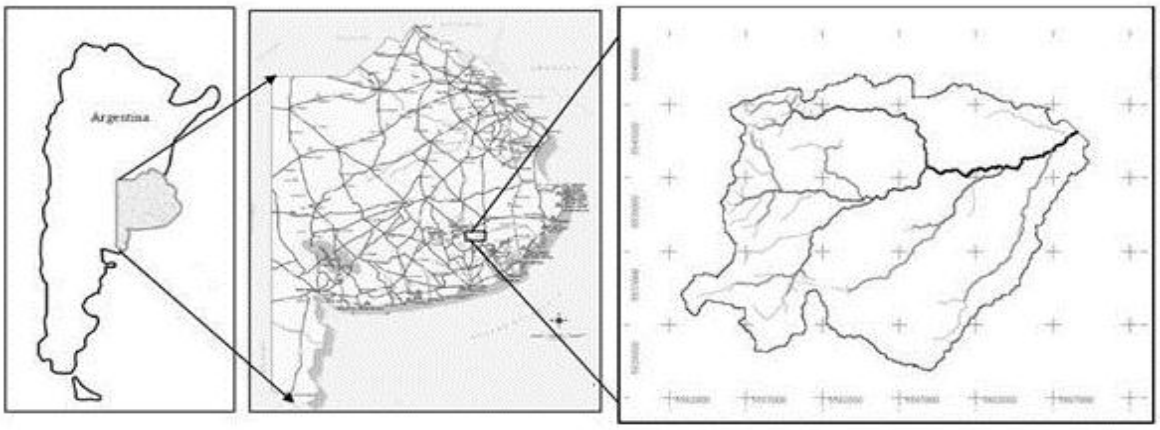


Figura 1. Ubicación de la cuenca alta del Arroyo Napaleofú.

Según la clasificación climática de Thornthwaite, es un clima C2 B' r a', que indica un clima mesotermal subhúmedo-húmedo, con nula o pequeña deficiencia de agua. Para el período 1968-2010, para la localidad de Tandil, la temperatura media anual fue de 13,9 °C, y la precipitación media anual es de 901 mm. La precipitación máxima se presentó entre los meses de octubre a marzo (Barranquero, R. et al. 2012).

Las unidades cartográficas de suelos corresponden a los dominios edáficos 1 y 2, con los grupos predominantes de Argiudoles y Hapludoles, según la carta de Suelos de la República Argentina (escala 1:500000) descripta por el Atlas de Suelos del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA, 1989).

La flora pertenece a la región geográfica de la pampa húmeda cuya vegetación es la de la estepa o pseudoestepa de gramíneas propias de los pastizales pampeanos (Cabrera, A.1971). Es una región con una economía diversificada, con actividades primarias tales como la agricultura y la ganadería, que ejercen supremacía sobre las demás (Venacio, L. 2007). Actualmente, a partir de la estructura productiva del área y la buena aptitud edáfica, se han manifestado cambios en el uso del suelo.

El procesamiento cartográfico geoespacial LTHIA, bajo entorno ArcView®, para la zonificación de la lámina de escurrimiento, a nivel píxel, requiere de cartografía en formato vectorial, codificadas de forma tal que, luego del rasterizado automático, procesamiento y asignación de valores particulares según el caso, se genera un mapa de número de curva a partir del cual se determina la lámina de escurrimiento (Engel, B. et al, 2005).

El modelo utiliza cartografía de grupos hidrológicos de suelo y mapa de uso de la tierra y una base de datos de precipitación diaria del área de estudio (en formato texto).

El mapa de la zonificación de grupos hidrológicos (GH) fue obtenido a través del Atlas de Suelo de la República Argentina (INTA, 1995) (Fig. 2). La clasificación en grupos hidrológicos está basada en características texturales o de permeabilidad del suelo según la siguiente clasificación: Grupo A: Son suelos profundos, sueltos con predominio de arena y grava, que genera menor escorrentía; Grupo B: De moderada permeabilidad cuando saturado, del tipo franco; Grupo C: Posee un estrato impermeable que dificulta la infiltración, con una textura franco-arcillosa; Grupo D: Suelos que generan la mayor escorrentía, disminuyendo a acción de la infiltración, con mayor presencia de arcillas.

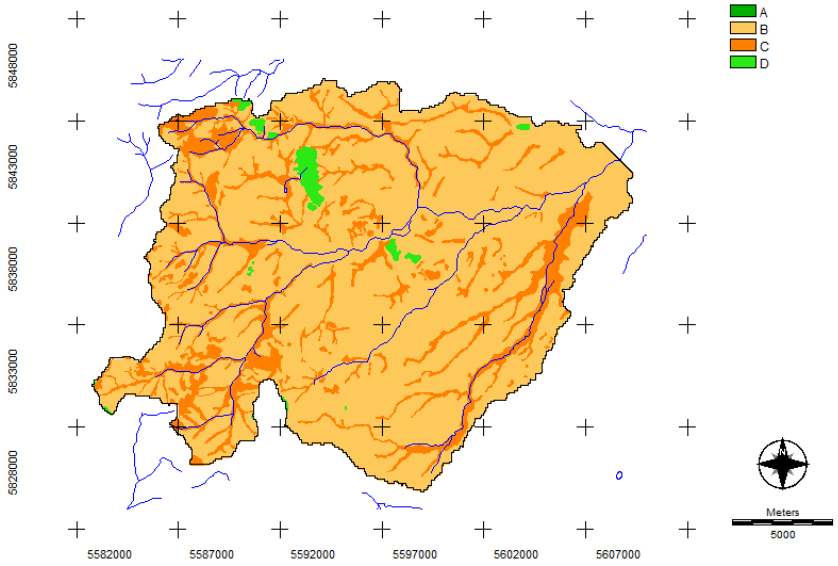


Figura 2. Grupos Hidrológicos de la cuenca alta del Arroyo Napaleofú.

El mapa de uso del suelo fue elaborado para tres escenarios de tiempo: año 1986, año 1996 y año 2011. Para la zonificación de cada uso se seleccionaron tres imágenes Landsat 5 TM, (Path 224 Row 86) de tres fechas: 13/01/1986, 26/12/1996 y 18/01/2011, obtenidas del Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais de Brasil (INPE), que a partir de la clasificación supervisada con corroboración de datos a campo (según el caso) y de la cartografía antecedente para la zona en estudio (Rodríguez Vagaría y Gaspari, 2010). Para el procesamiento de las imágenes se utilizó el Software de Sistema de Información Geográfica (SIG) Idrisi Taiga® (Eastman, J. 2006).
Los usos del suelo reconocidos en cada fecha en la cuenca se representan en la Fig. 3, siendo los identificados:

- El uso Agrícola (A) Son tierras sin o con leves limitaciones que se solucionan con simples prácticas de manejo y conservación de suelos para mantener su productividad. Generalmente, son suelos profundos, desarrollados en terrenos relativamente altos y de pendientes suaves y con adecuada disponibilidad de agua.
- El uso Ganadero-agrícola (GA) se presenta en áreas con producción principalmente bovina (invernada, tambo, recría), sobre pasturas cultivadas plurianuales y verdeos en rotación con ciclos cortos de cultivos de cosecha adaptados al clima y suelo. Generalmente se realiza en tierras con severas limitaciones que restringen la elección de cultivos y/o requieren la aplicación de prácticas de conservación de suelos.

- En el uso Agrícola-ganadero (AG) predomina la fase agrícola con una sucesión de cultivos de cosecha, con intercalación de períodos de barbecho. La fase ganadera se desarrolla sobre la base de pasturas cultivadas plurianuales y durante la misma, el suelo recupera las condiciones necesarias para reiniciar el ciclo anterior. Esta actividad mixta se realiza principalmente en tierras con moderadas limitaciones edáficas y/o climáticas, que restringen la elección de los cultivos y/o requieren la aplicación de prácticas de conservación, del suelo y el agua, para mantener su nivel productivo.
- El uso Ganadero (G3b) se realiza en forma extensiva sobre pastizales naturales, en zonas con marcado relieve y la presencia de roca en superficie. La principal producción que se realiza es bovina de cría. Esta actividad se lleva a cabo en tierras con importantes limitaciones de suelos y que generalmente no permiten la implantación de pasturas cultivadas, salvo casos donde es posible el mejoramiento de la vegetación natural mediante intersiembras de especies adaptadas a las condiciones desfavorables.
- El uso Monte (M), en la cuenca se presenta en forma de cortinas y montes para reparo de animales y se encuentran también vegetación forestal en las márgenes de los cursos de agua, compuesta principalmente por sauce criollo.

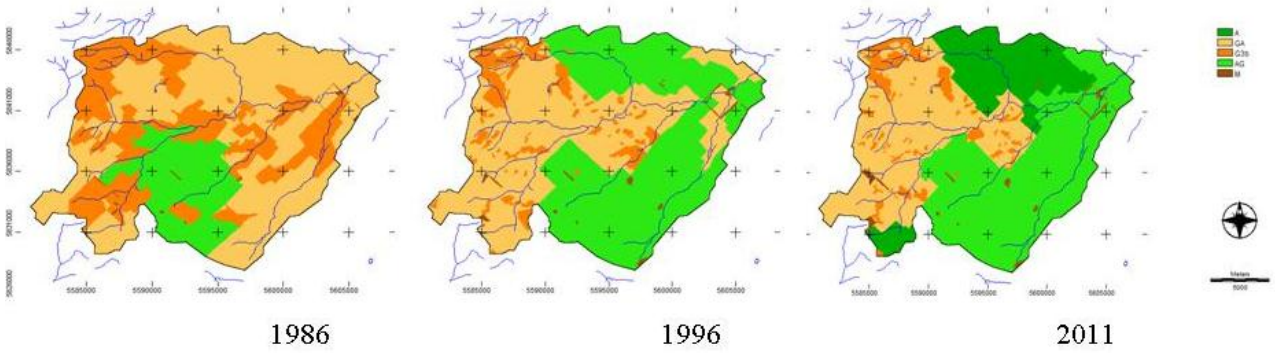


Figura 3. Uso del suelo en la cuenca alta del Arroyo Napaleofú para los tres escenarios en estudio.

A partir de la clasificación de uso del suelo descripta con anterioridad, se realizó una recodificación de clases según la estructura requerida por el modelo LTHIA.
Los registros pluviométricos fueron obtenidos de la Estación Meteorológica de Tandil, del Servicio Meteorológico Nacional. Estos datos se disponen en formato planilla de cálculo y han sido adaptados al formato específico para utilizar el modelo. Los registros abarcan datos diarios del período de 1968 hasta 2011 (Fig. 4).

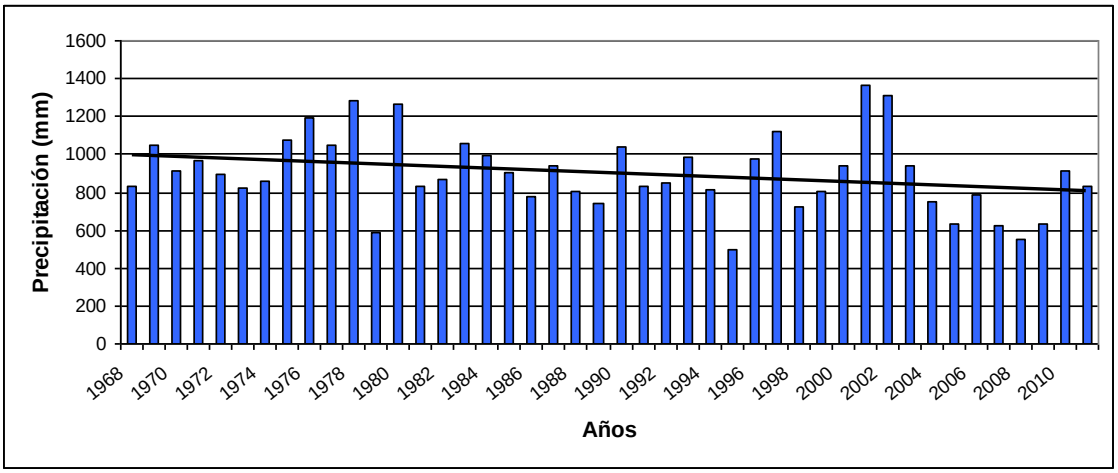


Figura 4. Evolución de las precipitaciones anuales (período 1968-2011).

El método del NC se basa en que las combinaciones de tipo de suelo (GH) - vegetación de características semejantes, responderán de manera análoga bajo el efecto de una tormenta de intensidad variable. A mayor valor de Número de Curva, las condiciones de escorrentía son más críticas, es decir, los valores de infiltración son menores (Gaspari, F. et al., 2007).

La aplicación del LTHIA permitió zonificar el NC a escala de píxel, favoreciendo la precisión geoespacial para la determinación de la lámina de escorrentía. La clasificación por NC se estableció según la condición II (normal) de humedad antecedente del suelo.

El modelo, a partir de la zonificación del NC, calcula las pérdidas iniciales (Po) (mm), como [254 (100 / NC - 1) = 0,2 S]. Con Po y una base de datos de lluvia diaria mensual (P), genera la zonificación de la precipitación efectiva (Pe) (mm) por medio de $[(P - Po)^2 / (P + 4\ Po)]$.

Para un fehaciente análisis de las características particulares del complejo suelo-vegetación de la cuenca alta del Arroyo Napaleofú, este archivo fue adaptado de forma tal que asignó valores NC conformes a la región.

RESULTADOS

La cartografía vectorial de base en la cuenca alta del arroyo Napaleofú fue la vegetación y uso del suelo y el mapa de grupo hidrológico (GH), la cual fue adaptada a los requerimientos de la clasificación del modelo.

La modelización con LTHIA generó una cartografía (en grilla) de la zonificación del NC para cada escenario, según la combinatoria geoespacial que se expresa en la Tabla I.

Tabla I. Valoración del NC por LTHIA

		GH		
		B	C	D
Usos del suelo según LTHIA	Ganadería	61	74	80
	Monte	56	70	77
	Agricultura	75	82	85

.

En la Fig. 5 se presenta el porcentaje de ocupación en superficie por escenario, considerando cada combinación de uso del suelo y el GH, estableciendo de esta manera la ocupación de cada NC, determinado automáticamente por la modelización con LTHIA.

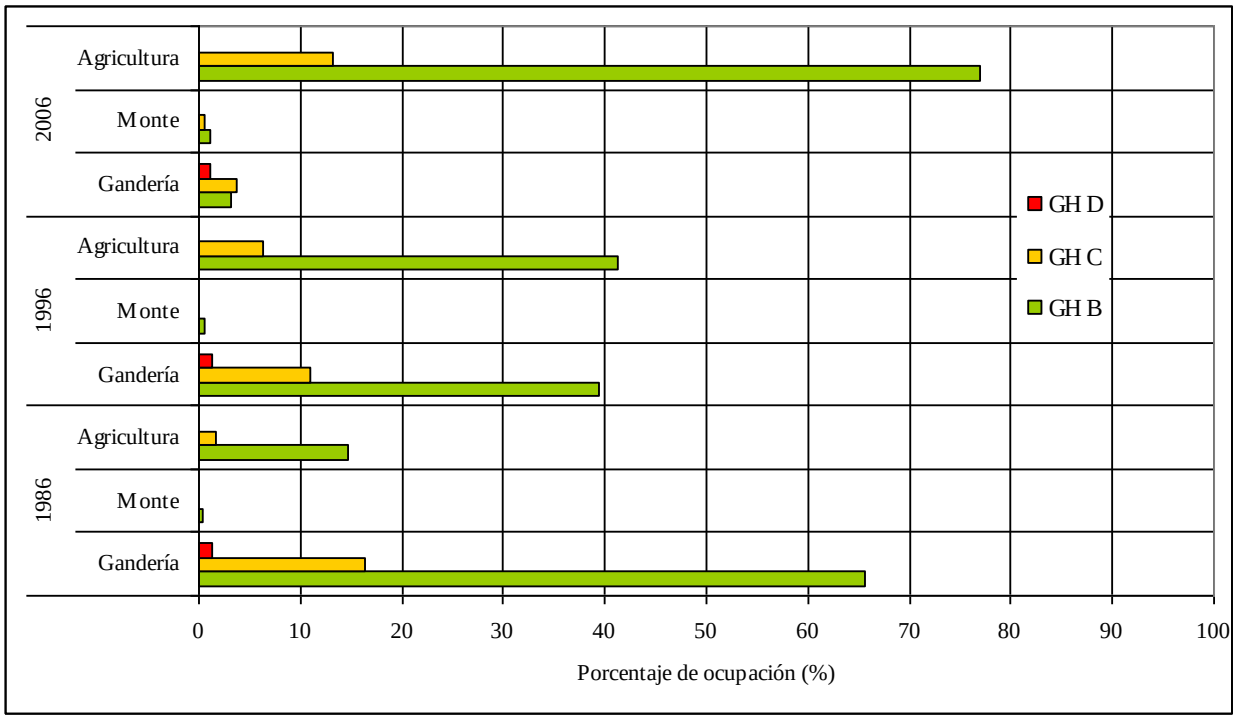


Figura 5.Ocupación en superficie (%) por escenario.

El procesamiento con LTHIA generó la zonificación de la escorrentía media anual, representando su cuantificación en la Fig. 6.

En los tres escenarios se observó la tendencia de aumento del escurrimiento en función de las características edáficas y del cambio de uso del suelo. Los mayores escurrimientos se presentaron en las áreas con Agricultura en suelos de textura arcillo-limosa. Estas áreas han sufrido cambios en el período de tiempo estudiado debido al avance de la agricultura sobre la ganadería. Este proceso tiende a generar en forma conjunta una modificación en la dinámica del agua superficial, que se refleja en la Fig. 6.

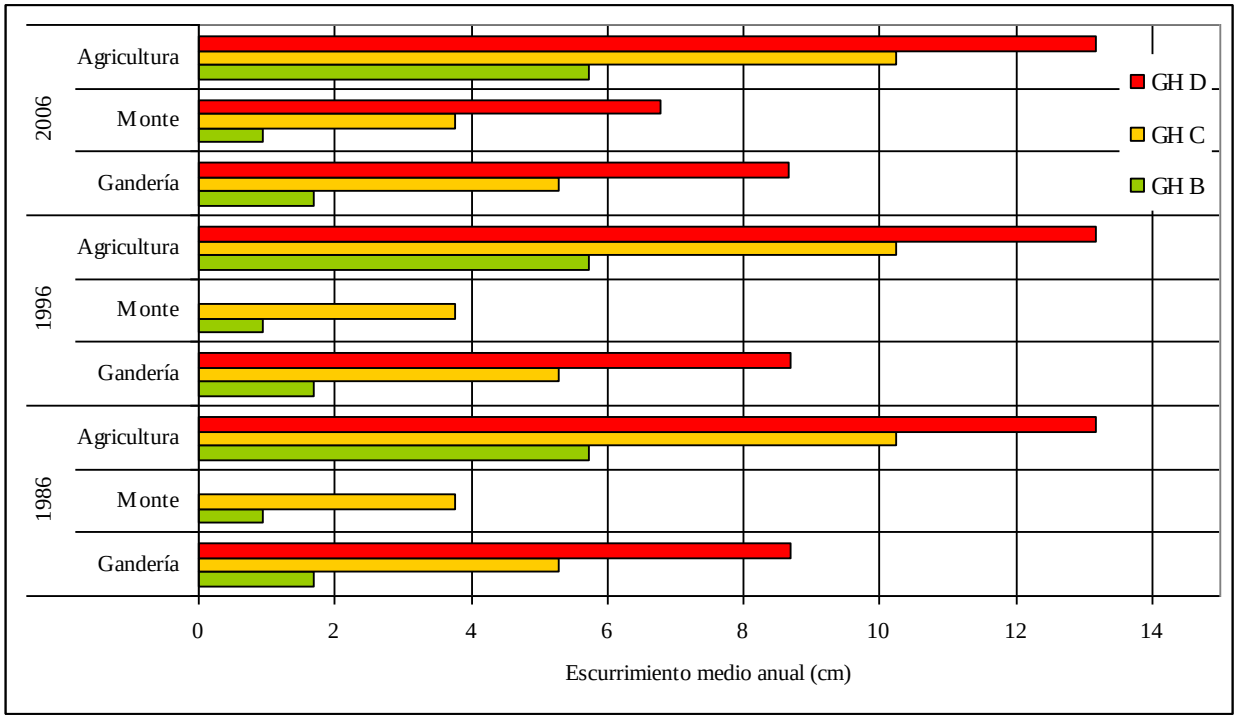


Figura 6. Escurrimiento medio anual (Q) por escenario según LTHIA.

En la Fig. 7 se presenta la zonificación del Q para los tres escenarios, donde se identifica que el cambio de uso del suelo generó el aumento del escurrimiento superficial. El aumento de la agricultura sobre los pastizales naturales generó un aumento en el escurrimiento, que aumenta el riesgo de pérdida de suelo. El sobrepastoreo en zonas ganaderas y agrícolas-ganaderas aumentó la compactación de los suelos disminuyendo la infiltración y posiblemente modificando el nivel los acuíferos. El aumento de la impermeabilidad reducirá el tiempo de concentración del escurrimiento superficial, incrementando el pico de descarga inmediatamente después de comenzar la lluvia en la cuenca.

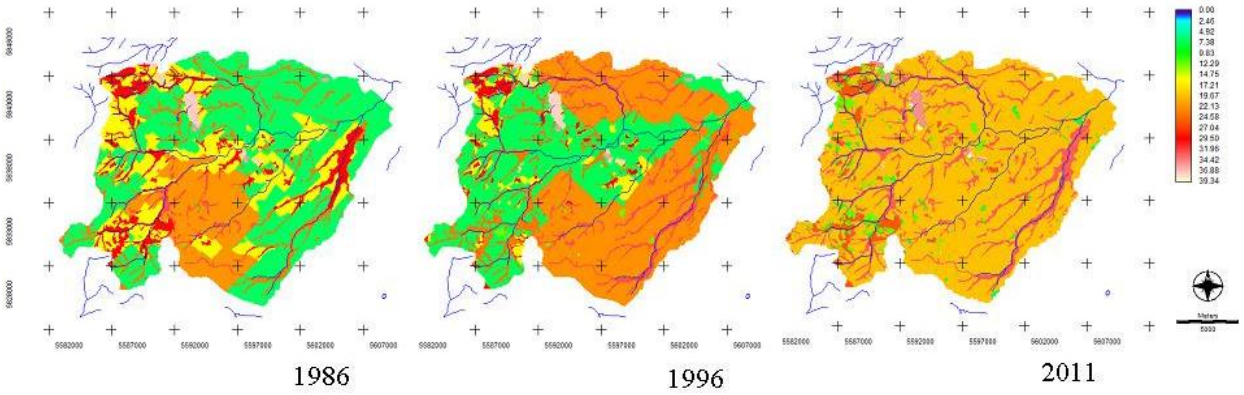


Figura 7. Zonificación del escurrimiento medio anual (Q (mm)) por escenario según LTHIA.

El LTHIA permitió zonificar el escurrimiento medio anual a partir de base de datos diaria a largo plazo, lo que absorbió la variabilidad inter e intraanual, favoreciendo la

representación geoespacial de los resultados, debido a que la mayoría de las modelizaciones hidrológicas se basan en datos de tormentas. Esta ventaja incluye la implementación del cálculo del escurrimiento en forma distribuída, permitiendo el cálculo en unidades hidrológica, eliminando la ponderación del NC que es uno de los datos requeridos para el procesamiento.

Los mapas dinámicos establecidos por los escenarios presentados, reflejan un cambio en el comportamiento del aprovechamiento del agua superficial, observado en la variación del escurrimiento, donde se visualiza un aumento en la parte media y baja de la cuenca entre los años 1986 y 1996 y disminución de la escorrentía en el período 1996-2011 en esa zona de la cuenca. Sin embargo, la tendencia general del escurrimiento entre los años 1986 y 2011 ha sido el aumento de la escorrentía, como se observa en la Fig. 7. Los máximos valores de escorrentía alcanzaron los 39,34 mm en las zonas con roca en superficie y mayores pendientes. Esta situación se mantuvo durante los 3 períodos.

Las respuestas de la cuenca ante la modelización indican que los escurrimientos menores a 10 mm se consideran leves. En el año 1986 ocupaban el 45,1% de la superficie, en el año 1996 bajó al 33,5% y en el año 2011 disminuyó el porcentaje de ocupación a 4,2. Los escurrimientos entre 10 y 20 mm fueron considerados moderados, ocupando en 1986 el 20 %, en 1996 el 5,3 % y en 2011 el 81% de la superficie de la cuenca. Los escurrimientos mayores a 20 mm, considerados altos, se distribuyeron sobre una superficie de 34,2%, 61,2 % y 15,6% para los años 1986, 1996 y 2011 respectivamente.

Los resultados del modelo aún no fueron validados por la falta de registros de campo en la cuenca. Se ha realizado una compatibilización de cartografía con el Idrisi Taiga para la presentación en este trabajo

La modelación con LTHIA estableció el funcionamiento hidrológico de la cuenca, obteniendo una cartografía de la lámina de escurrimiento promedio anual a partir de la zonificación espacial automática del NC, para los escenarios climáticos definidos.

CONCLUSIONES

La modelación con LTHIA permitió establecer el funcionamiento hidrológico por medio de la relación precipitación – escurrimiento en los últimos 25 años en la cuenca, obteniendo la zonificación espacial de la lámina de escurrimiento promedio anual, para los escenarios climáticos definidos.

LTHIA es apropiado para estimar escurrimiento en cuencas hidrográficas, donde la zonificación del uso del suelo no expresa un detalle en términos de medidas de manejo y conservación del suelo, ya que el modelo cuenta con solo ocho clases representativas. Para ampliar las clases de uso del suelo de LTHIA para la agricultura y los pastizales podrían incluirse nuevos valores de NC con la distribución de las explotaciones, sin aumentar la complejidad para el usuario.

La metodología aplicada permite la extrapolación de la modelización para la aplicación de medidas conservacionistas de uso del suelo y evaluar el impacto de terrazas u otras prácticas, tales como curvas de nivel o los residuos, en las laderas de las cuencas hidrográficas rurales.

REFERENCIAS

Barranquero, R. S., Varni, M., Ruiz de Galarreta, A. y R. Banda Noriega. 2012. Aporte de la hidroquímica al modelo conceptual del sistema hídrico subterráneo, Tandil. Argentina. *GEOACTA* **37**(2): 130-146 . Asociación Argentina de Geofìsicos y Geodestas.

Bustamante, E. 1984. *Hidrología. Conceptos de hidrología de superficie. Modelos matemáticos determinísticos.* CIHSA. Vila Carlos paz. Córdoba. Argentina. 247

Cabrera, A.1971. *Fitogeografía de la República Argentina*. Boletín de la Sociedad Argentina de Botánica. **XIV**. N° 1 y 2.

Engel ,B. , J. Harbor, S. Muthukrishnan, S. Pandey, and K.J. Lim. 2003. *LTHIA NPS Versión 2.3. User Manual* http://www.ecn.purdue.edu/runoff/lthianew/gis/lthiaman23.pdf

Engel, B, Harbor, J, Muthukrishnan,S, Pandey,S, Kyoung, J.L, Theller,L. 2005. L-*THIA NPS. User Manual.* Purdue University, United States Environmental Protection Agency. 46.

Eastman, J. R. 2006. *Idrisi Andes Guide to GIS and Image Proccesing.* Clark Labs, Clark University, USA.

Gaspari, F.J..; Senisterra, G.E. y R.M.Marlats. 2007. Relación precipitación – escorrentía y número de curva bajo diferentes condiciones de uso del suelo aplicada a una cuenca modal del Sistema Serrano de la Ventana. Argentina. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias. U.N.C.*. Argentina. **XXXIX.** N°1. 21-28.

Harbor, J. M. 1994. A practical method for estimating the impact of land-use change on surface runoff, groundwater recharge and wetland. **60.** 1. 95-108. *Journal of de American Planning Associatio*n. USA.

Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. 1986. *Mapa de Suelos del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria.* Proyecto PNUD. Argentina 85/019 Área Edafología. 524 .

INTA, 1995. *Atlas de Suelos de la República Argentina*. Instituto de Suelos, INTA Castelar, Bs.As.

Rodríguez Vagaría, A.M. y F.J. Gaspari, 2010. GeoQ: Herramienta para la determinación del Número de Curva y escorrentía bajo entorno SIG Idrisi Andes®. *Revista Internacional de Ciencia y Tecnología de la Información Geográfica. International Review of Geographical Information Science and Technology*. España. GeoFocus Formato digital. N°10. 11-26.

Ryu, N. H., Y. H. Choi, J. D. Choi, B. y. Choi. 2001. A Long-term Runoff Analysis of Mountainous Watersheds Using LTHIA in Korea , *ASAE Annual International Meeting, Sacramento,* California, Paper No, 012130

Venacio, L. 2007 *Globalización, Desarrollo Local y Sociedad Civil*. Edición electrónica gratuita. Texto completo en: www.eumed.net/libros/2007a/222/

Vázquez, P. y L. Zulaica. 2011 Cambios en el uso de la tierra del partido de Tandil y principales impactos ambientales. *Revista Párrafos Geográficos*. **10**, N° 2. 242-267.

LA FORMACION DEL RECURSO HUMANO EN GEOMAGNETISMO

Julio César Gianibelli [a,b]

[a]*Departamento de Geomagnetismo y Aeronomía, Facultad de Ciencias Astronómicas y Geofísicas, Universidad Nacional de La Plata, La Plata, ARGENTINA*
[b] *Servicio Meteorológico Nacional,Ciudad Autonoma de Buenos Aires, ARGENTINA*

e-mail: geofisicogianibelli@yahoo.com.ar

RESUMEN

Uno de los desafíos más importantes en la disciplina de geomagnetismo es la formación del Recurso Humano (RRHH). El mismo se encuentra en diferentes niveles de profesionales, técnicos y observadores. Los primeros disponen del conocimiento de la disciplina en diversas carreras universitarias. En cambio para los técnicos y observadores las instituciones que desarrollan específicamente la disciplina tienen programas y proyectos a este fin. En este trabajo se presentan la estructura y organización que se dispone en la República Argentina tal como las Universidades Nacionales e Instituciones como el Servicio Meteorológico Nacional (SMN) e Instituto Antártico Argentino (IAA). Los programas de formación están dedicados a tener el recurso humano especializado para la aplicación en los ámbitos científicos puros del geomagnetismo, en la ciencia aplicada y en la formación de observadores. Se concluye que la aplicación de los programas vigentes dan muy buenos resultados para los próximos años dentro de la actividad sinergética entre las distintas instituciones involucradas.

Palabras Clave: Geomagnetismo, Observatorios Magnéticos, Recursos humanos

INTRODUCCION

La disciplina del Geomagnetismo se inicia en Latinoamérica con la instalación en 1904 de los Observatorios Magnéticos Permanentes (OMP) de Pilar (PIL; Lat: 31 ° 40 '03 "S Long: 63 ° 52' 53" W.) y de Orcadas (ORC; Lat 60° 44´16´´ S Long 44° 44´24´´ W) y posteriormente en 1917 el de La Quiaca (LQA; Lat 22.1 º S Long 294.4º W) por parte del Servicio Meteorológico Nacional (SMN), con las técnicas de observación y registro basadas en la interacción de imanes con el Campo Magnético Terrestre (CMT). Posteriormente en 1957 y 1961 la Universidad Nacional de La Plata (UNLP) instala los observatorios de Trelew (TRW; Lat: 43 º 16.1 'S; Long: 65 ° 22.9 'W) en la Prov de Chubut y de las Acacias (LAS; Lat: 35 ° 00.5 'S, Long: 57 ° 41.65' W) en la Provincia de Buenos Aires con el mismo sistema que el SMN (Jacobs,1987). Sus registros fueron con papel fotográfico donde se plasmaba la variación de los elementos geomagnéticos D, H, y Z respecto de una línea de base y con un registro de las variaciones de temperatura para las correcciones. La línea de base se determinaba mediante observaciones absolutas de los mismos elementos mediante instrumental basado en el mismo principio, estos se llaman Magnetómetro a Fibra de Cuarzo para medir D y H

(QHM) y la Balanza Magnética para medir Z (BMZ) (Parkinson, 1983). En 1993 el OMP de TRW comienza con sus registros digitales mediante variómetros de compuerta de flujo para D e I y un Magnetómetro de Presesión Protónica (PPM) absoluto, siendo ahora la determinación de las líneas de base solo para D e I mediante un Teodolito Magnético Flux Gate (Jankowski et. al.1996). Posteriormente en el año 2003 el OMP de LAS transforma su registro analógico a digital pero solo de la intensidad de campo F con un PPM. En 2010 y 2012 los OMP de PIL y ORC transforman su registro a digital. Al presente resta la instalación del instrumental digital del OMP de LQA .Las variaciones del CMT de origen externo permitieron conocer la fenomenologías que las produce y dar inicio a la disciplina de la Aeronomía. El conocimiento más detallado de la estructura y características reológicas de La Tierra a mediados del siglo 20 permitió establecer la teoría del origen del CMT basado en una dinamo autosustentada denominada Geodínamo (Merrill R.T. et. al. 1998) En la superficie terrestre las observaciones absolutas del CMT están relacionadas a la dirección del norte geográfico y en cada una de las observaciones se determinan el conjunto de los aportes del campo de origen externo cortical e interno. La figura 1 es la base conceptual de la relación de los elementos geomagnéticos para todo sistema de enseñanza, aprendizaje, e interpretación de resultados y su relación con la fenomenología que los producen y en especial en la incorporación del concepto en el proceso del razonamiento.

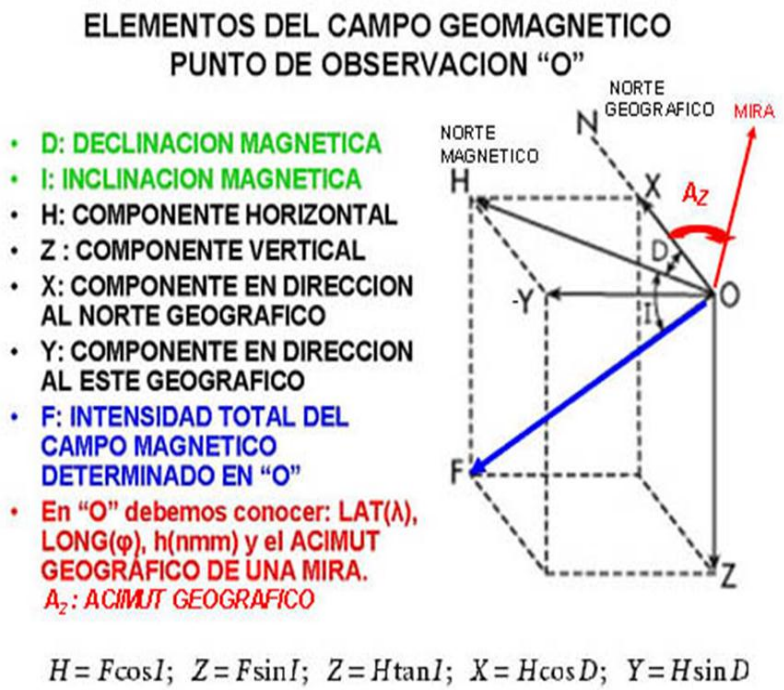


Figura 1: Componentes del CMT y su relación con el sistema geodésico de posicionamiento mediante al azimut geográfico a una dirección fija llamada mira. Los elementos D, I, y F son los que en la actualidad se registran y determinan en forma absoluta.

El CMT se comporta como un gran imán (Jacobs, 1987) siendo los elementos que inicialmente se midieron D e I. La brújula jugó un rol importante en la historia del CMT y el posicionamiento ya que mide el ángulo entre la dirección al norte magnético

y la dirección al norte geográfico. En la actualidad se usa como último recurso el compás magnético también para el posicionamiento. En la Figura 2 se presenta para un punto de observación "O" los signos de los elementos magnéticos. Por definición un polo de la aguja de la brújula es positivo si apunta al norte magnético sobre toda La Tierra, esto implica que las líneas de campo salen del polo sur (+) y entran en el polo norte magnéticos (–), de ello se desprende que la componente Z sea positiva hacia abajo. La declinación D se mide de 0º a ±180º positivo hacia el Este y negativo al Oeste mientras que la Inclinación I se mide de 0º a ±90º positivo hacia abajo y negativa hacia arriba.

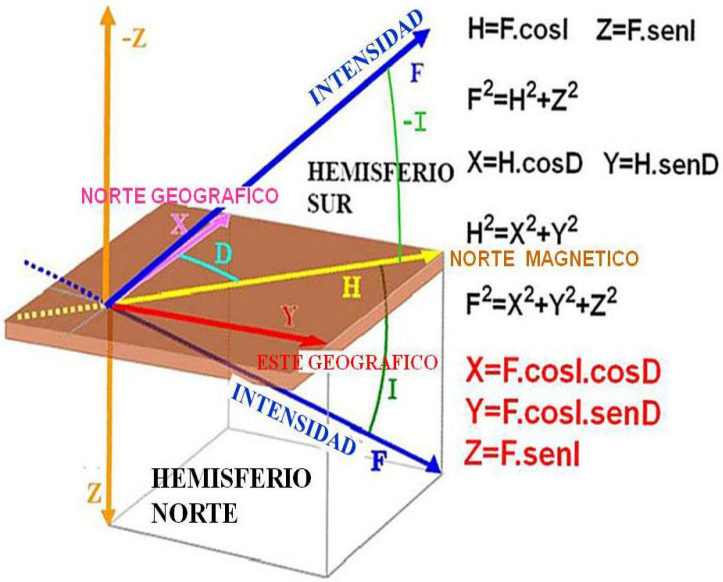


Figura 2: Elementos Geomagnéticos y relaciones matemáticas

El objetivo del presente trabajo es realizar un análisis de las estructuras y organización de los sistemas educativos de nivel superior y otras instituciones que desarrollan la actividad de la enseñanza del Geomagnetismo para la formación del RRHH. También se analizan los aspectos sinergéticos y cibernéticos de los sistemas.

DESARROLLO

La carrera de Geofísica

La Geofísica es una de las ciencias del conocimiento cuyas fuentes se remontan a las fenomenologías observadas por el hombre en tiempos ancestrales, y cuya explicación siguiendo las teorías físicas son probadas en los últimos 100 años, por ejemplo en el geomagnetismo, mediante el modelado del CMT y de su interacción con los procesos de la actividad solar. En este sentido debemos decir también que la estructura del geosistema y geodinámica del planeta ha evidenciado sus fenómenos evolutivos gracias a la tecnología, cuyo avance acelerado nace después de la segunda guerra mundial. La Geofísica como carrera de grado y posgrado en la República Argentina, es creada en 1948, en el Instituto Superior del Observatorio Astronómico de La Plata (actualmente

Facultad de Ciencias Astronómicas y Geofísicas, FCAyG) dependiente de la Universidad Nacional de La Plata (UNLP), donde en su currícula de materias se imparte el conocimiento de prácticamente todos los lineamientos de la misma. En particular los conocimientos del Geomagnetismo se impartían en la Cátedra de "Geomagnetismo y Electricidad Atmosférica" que en la actualidad se denomina "Geomagnetismo y Aeronomía" como el Departamento homónimo (DGyA) responsable de su dictado, proyectos de investigación, formación del recurso humano y de los OMP de TRW y LAS. En 1983 la Universidad Nacional de San Juan crea la carrera de Geofísica donde el DGyA colabora dando cursos de pos grado en Geomagnetismo, Relaciones Terrestres Solares y Climatología Espacial. En el año 2007 se crea en la Universidad Nacional del Sur también la carrera de Geofísica donde se dictan cursos de perfeccionamiento y posgrado por parte del DGyA. El Geomagnetismo y la Aeronomía tienen una vinculación con otras disciplinas científicas y de la Geofísica representada en la Figura 3.

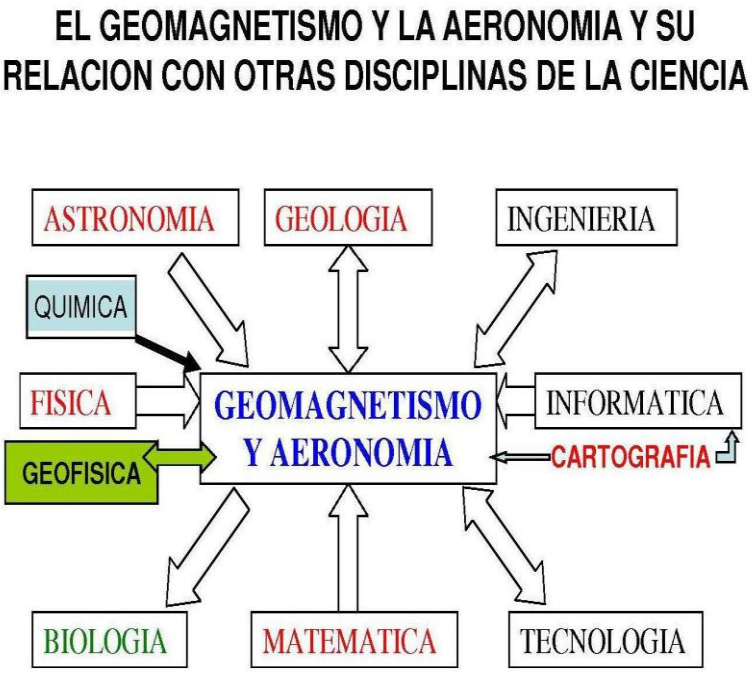


Figura 3: Relaciones con la geofísica y otras disciplinas científicas del Geomagnetismo y Aeronomía.

Formación del Recurso humano (RRHH)

La ciencia básica y aplicada necesita de los proyectos educativos para la formación del RRHH, y para el desarrollo científico y tecnológico acorde con las necesidades de los fenómenos a modelar y así predecir la evolución de los mismos. A este respecto una clasificación adecuada de los niveles en la formación del RRHH en Geomagnetismo es a través de los siguientes niveles:
Nivel 1) Profesionales Geofísicos.
Nivel 2) Profesionales Geólogos, Ingenieros, Físicos, Informáticos, Matemáticos y Astrónomos.

Nivel 3) Técnicos observadores.
Nivel 4) Observadores.
En el nivel 1 correspondiente a la Geofísica la formación es en todo el espectro de los temas de investigación y técnicas de observación, relevamientos y procesamiento de datos. En cambio para los Profesionales de nivel 2 (incluso los de nivel 1) la formación es mas profunda en la temática específica a desarrollar. Algunos temas son los siguientes Cartografía magnética, Modificación de los sistemas de adquisición de la información producida por los PPM, Relevamientos magnéticos y modelado de anomalías, Modelos matemáticos de series de tiempo en geomagnetismo, Efectos de marea en geomagnetismo, Relaciones terrestres solares, Índices de actividad en geomagnetismo, Modelos Geomagnéticos, Técnicas de Observación en Observatorios, Técnicas de comparación y control de instrumental.
El nivel 3 corresponde al RRHH con experiencia en la actividad de observación, administración y logística en OMP, y en el nivel 4, de observadores, la técnica de formación del RRHH consiste en cursos de capacitación con conceptualizaciones teóricas y aplicadas.
En geomagnetismo, aeronomía y climatología espacial el registro y observación de los elementos geomagnéticos son fundamentales para el desarrollo de los proyectos de investigación y formación del RRHH. La siguiente clasificación de los sistemas de registro y observación en los OMP, se muestra en las Figura 4 y Figura 5. En la Figura 6 se indican la definiciones de las estaciones magnéticas de repetición (EMR) y estaciones base (EMB).

OBSERVATORIOS MAGNETICOS PERMANENTES (OMP)
TIPO 1: REGISTRA TRES ELEMENTOS MAGNETICOS (X Y Z), (D H Z), (D I F) O MAS EN FORMA ABSOLUTA
TIPO 2: REGISTRA SOLAMENTE LA INTENSIDAD TOTAL F EN FORMA ABSOLUTA

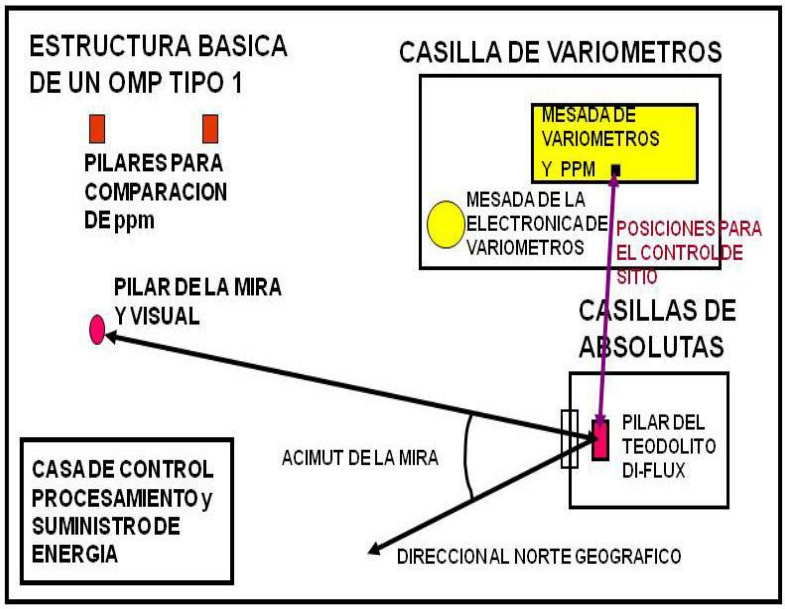


Figura 4: observatorio magnético permanente tipo 1.

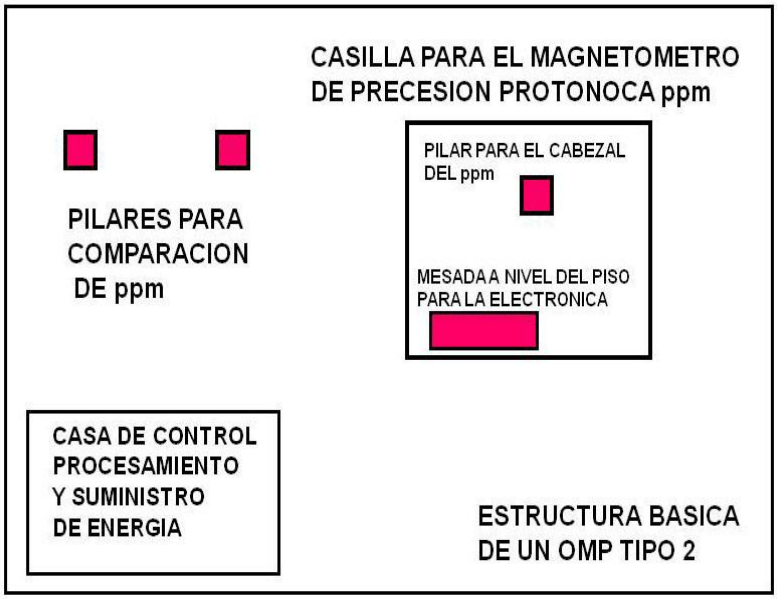


Figura 5: Observatorio Magnético Permanente tipo 2.

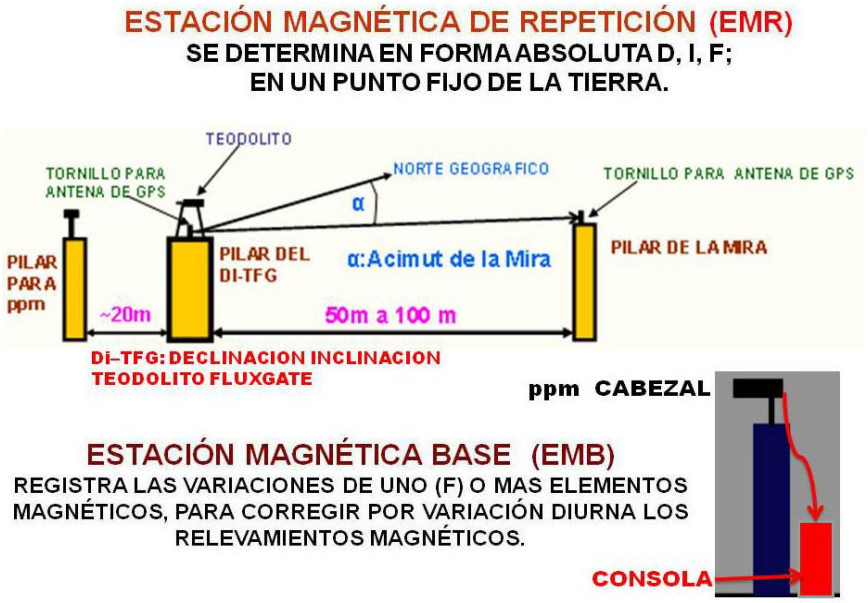


Figura 6: Estructura de las EMR y EMB.

Las EMR (Newitt et. al. 1996) son utilizadas para la confección de las cartas magnéticas de una región, continente o país, mientras que la red de OMP es la base para la confección del Modelo del Campo Geomagnético Internacional de Referencia (IGRF por sus siglas en ingles). Las EMB son utilizadas como estaciones de registro de las variaciones del CMT, preferentemente F en forma absoluta, para la corrección de los relevamientos magnéticos realizaos parea estudios de tectónica y prospección (Fig. 6). Las técnicas en los procesos de formación de los RRHH esta basado en tres actividades del sistema enseñanza – aprendizaje:

1) Clases presenciales donde se imparte el conocimiento teórico en diferentes entregas de 3 a 4 hs y utilizando tiza y pizarrón, powerpoint y películas donde se

tratan la temática en forma general y particular con diferentes escalas de detalle.
2) Practica con instrumental automático (ppm) y Teodolito Magnético con Sonda Fluxgate.
3) Procesamiento y análisis de los datos obtenidos según el objetivo de la práctica.

Para la formación de técnicos observadores de OMP de tipo 1 la formación incluye las prácticas de observación y prácticas específicas para cada OMP tipo 1 y para los OMP tipo 1 y 2 las practicas correspondientes a la comparación de instrumental (ppm). En todas estas prácticas esta incluida el procesamiento y análisis de los datos obtenidos. Para las EMR la práctica consiste en la aplicación de los protocolos previamente aprobados por las instituciones de administrar esta red en lo referente a las técnicas de observación, procesamiento y corrección de los datos por variación diurna, .utilizando los OMP para este fin. Las prácticas con EMB están destinadas a la aplicación de los registros de estas estaciones en la corrección de relevamientos magnéticos, incluyendo la comparación de dichos registros con los obtenidos en lo OMP. Esta técnica tiene la finalidad de verificar el concepto de variabilidad espacio temporal del CMT.

Programas sinergéticos en Geomagnetismo

Los programas sinergéticos de diferentes instituciones vinculadas con la disciplinas del geomagnetismo permiten una integración de los aspectos estructurales, organizativos y logísticos directamente vinculados con la formación del RRHH al disponer de los sistemas de registro y bases de datos mundiales. La Figura 7 muestra la red de OMP donde la información para los proyectos y programas es obtenida por medio de las redes Intermagnet y WDC (World Data Center).

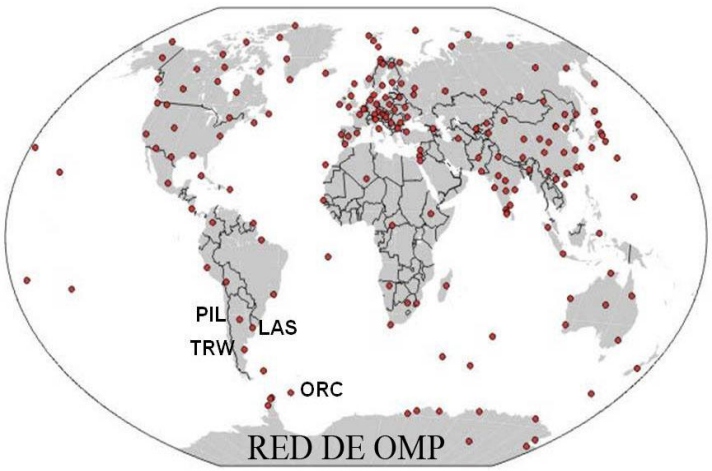


Figura 7: Red de OMP en operación en la actualidad.

La Republica Argentina en el año 2007 realiza una restructuración de las responsabilidades de su Ministerio de Defensa pasando a depender de su organización el SMN. A partir de este año se inicia una actividad sinergética con el DGyA para la capacitación de los observadores y técnicos de los OMP de PIL y ORC y personal de invernada en el OMP de ORC. Esta actividad se profundiza con la instalación del sistema INDIGO (Intermagnet Digital Geomagnetic Observatory) en PIL y ORC. La formación del RRHH, tiene debido a este cambio tecnológico, la incorporación de

nuevos conocimientos y la nueva disciplina de la climatología espacial como resultado más sobresaliente en los cursos de grado, posgrado y capacitación de técnicos y observadores en el SMN, UNSJ, UNS y la Universidad Nacional de Tucumán. La Figura 8 muestra la relación sinergética básica que da origen a los programas continuos de capacitación.

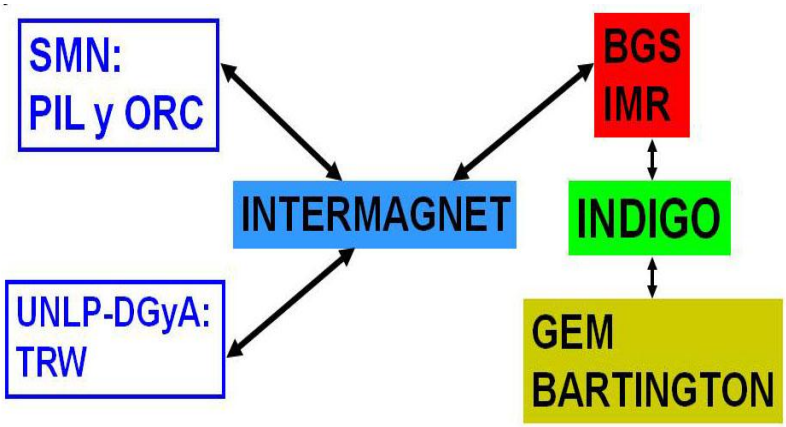


Figura 8: Sistema cinergético entre la UNLP-DGyA, el SMN, los OMP de TRW, PIL y ORC a traves de la RED INTERMAGNET y su sistema digital INDIGO producido por el BGS (British Geological Survey) y el IMR (Real Meteorological Institut of Belgium) y las empresas GEM (Canada) y BARTINGTON (UK).

CONCLUSIONES

Se concluye que la aplicación de los programas vigentes brindan muy buenos resultados en la formación de los RRHH para los próximos años dentro de la actividad sinergética entre las distintas instituciones involucradas. Las características del CMT han producido nuevos conocimientos y paradigmas que han ampliado la incumbencia del geomagnetismo sobre las relaciones fenomenológicas a sistemas más complejos tal como la heliósfera y por ende el conocimiento de todo el medio ambiente que rodea la Tierra. Esta conclusión se plasma en la figura 9. Otra conclusión importante son las referencias bibliográficas básicas para la formación del RRHH que se proponen según los autores ordenados por año de publicación. Esta bibliografía es un indicativo de la evolución del Geomagnetismo y Aeronomía y sus líneas paradigmáticas de investigación y docencia, y son detallados en las referencias.

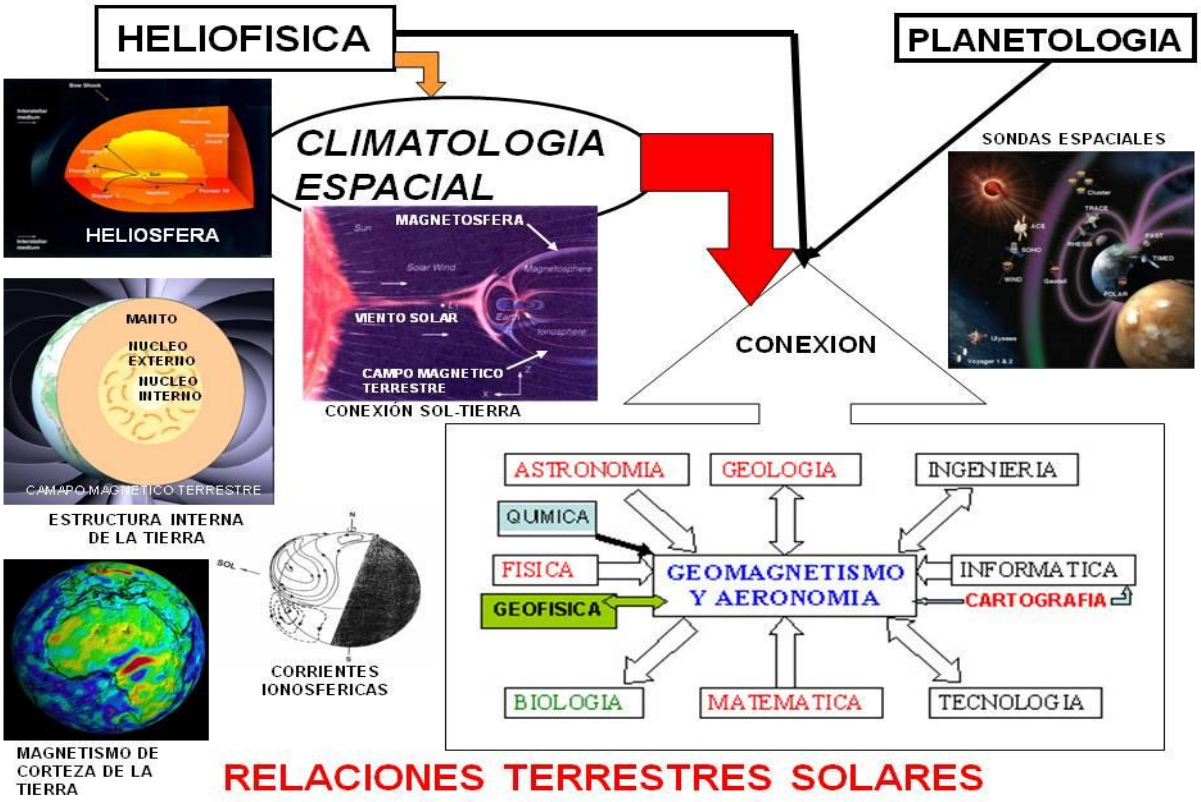


Figura 9: Conexión SOL-TIERRA, Relaciones Terrestres Solares y Climatología Espacial a través de las disciplinas relacionadas con el GEOMAGNETISMO Y AERONOMIA en un nuevo paradigma en desarrollo..

Los autores mas importantes de la bibliografía que se debe usar son: Chapman S. and J. Bartels (1940); Matsushita S. & W. H. Campbell (1967); Akasofu S-I and S. Chapman (1972); Akasofu S-I (Ed. 1980); Mayaud P.N. (1980); Carovillano R. L. & J. M. Forbes (Eds. 1983); Parkinson (1983); Kamide Y. & J. A. Slavin (Eds) (1986); Campbell W. H. (1989) Jacobs J. A. (Ed.) vol.1 y 2 (1987), vol.3 (1989) y vol.4.(1991); Tohmatsu T. (1990); Hargreaves J. K: (1995); Jankowsaki et.al.(1996); Newitt et. al. (1996); Merrill R.T. et. al. (1998); Campbell W.H. (2001); Sandholt P.E et. al. (2002); Campbell W.H. (2003); Poletto G. & S. T. Suess (2004); Lilensten J. & J. Bornarel (2006); Akasofu S-I (2007); Bothmer V. & I. A. Daglis (2007);. Gubbins D. & E. Herrero-Barvera (2007); Schubert G. (Ed) Vol 1 to Vol 11 (2007); Modwin M. (2008); Bolog A. et. al. (2008); Khomich V. Yu. et. al (2008);. Basavaiah N (2011); Kelley M.C. (2009, 2014).

REFERENCIAS

Akasofu S-I & S. Chapman, (1972) Solar-Terrestrial Physics. Oxford. London.
Akasofu S-I (Ed). (1980). Dynamics of the Magntosphere. D. Reidel. Pub. Co. Dordrecht Holland.
Akasofu S-I (2007). Exploring the Secrets of the Aurora 2nd. Ed. Springer. The Netherlands.
Basavaiah N., (2011) Geomagnetism. Springer. New Delhi. India.

Bolog A., L.J. Lanzerotti & S. T. Suess. (2008) The heliosphere through the Solar Activity Cycle. Springer. Berlin.
Bothmer V. & I. A. Daglis (2007) Space Weather: Physics and Effects. Springer, Berlin.
Campbell W. H. (1989); Quiet Daily Geomagnetic Fields. Birkhauser Verlag, Berlin.
Campbell W.H. (2001). Earth Magnetism. Harcourt-Academic Press. San Diego. USA..
Campbell W.H. (2003). Introduction to Geomagnetic Fields. Cambridge Univ. Press. Cambridge,. U.K..
Carovillano R. L. & J. M. Forbes (Eds.) (1983). Solar-Terrestrial Physics. D. Reidel Pub. Co. Dordrecht. Holland.
Chapman S. & J. Bartels, (1940). Geomagnetism Vol 1 & 2. Clarendon Press. London.
Gubbins D. & E. Herrero-Barvera (2007) (Editors). Encyclopedia of Geomagnetism and Paleomagnetism. Springer. Dordrecht. The Netherlands.
Hargreaves J. K: (1995). The solar Terrestrial Environment 2nd. Ed. Cmabridge Univ. Press. Cmabridge, U.K.
Jacobs J. A., (Ed.), Geomagnetism: Vol. 1 & 2 (1987), Vol. 3 (1989) and Vol. 4.(1991), Academic Press, N.Y.
Jankowski J. & C. Sucksdorff, (1996). Guide for Magnetic Measurementsand Observatory Practice. IAGA. Warsawa. Poland.
Kamide Y. & J. A. Slavin (Eds) (1986). Solar Wind – Magnetosphere Coupling. D Reidel Pub. Co. Dordrecht. Holland.
Kelley M. C. (2009). The Earth¨s Ionosphere, 2nd Ed. Academic Press-Elsevier. San Diego, USA.
Kelley M. C. (2014). The Earth¨s Electric Field. Acadaenic Press. Elsevier. San Diego, USA.
Khomich V. Yu., A. I. Semenov & N. N. Shefov (2008). Airglow as an of Upper Atmosphereric Structure and Dynamics.. Springer, Berlin.
Lilensten J. & J. Bornarel (2006). Space Weather, Enviroment and Societies. Springer. The Netherlands.
Matsushita S. & W. H. Campbell, (1967). Physics of Geomagnetic Phenomena, Vol 1 & 2. Academic Press, N.Y.
Mayaud P. N. (1980). Derivation, Meaning and Uuse of Geomagnetic Indices. AGU Monograph 22. AGU. Washington.
Merrill R.T., M. McElhinny & P. L. McFadden (1998). The Magnetic Field of the Earth. Academic Press, N.Y.
Modwin M. (2008). An Introduction to Space Weather. Cambridge Univ. Press. Cambridge. UK.
Newitt L. R., C. E. Barton, & J. Bitterly. (1996). Guide for Magnetic Repeat Station Survey. IAGA. Warsawa. Poland.
Parkinson W.D. (1983). Geomagnetism. Sottish Academic Press, London.
Poletto G. & S. T. Suess (2004). The sun and the Heliosphere as an Integrated System. Kluwer Acad Pub. The Netherlands
Snadholt P.E., H.C. Carlson & A. Egeland (2002) Dayside and Polar Cap Aurora. Kluwer Pub. Company. Dordrecht, The Netherlands..
Schubert G. (2007). (Ed. In Chief) Treatise on Geophysics Vol1 to Vol 11. Elsevier Pub. Co. Amsterdam. The Netherlands
Tohmatsu T. (1990). Compendium of Aeronomy. Kuwer Pub. Co. Drordrecht. Holland.

LA ACTIVIDAD GEOMAGNETICA MEDIANTE UN INDICE DE DETERMINACION GLOBAL

Julio César Gianibelli.[a,b], Nicolás Quaglino [a], María Inés Gil [b] y Fernando Nollas [b]

[a]Departamento de Geomagnetismo y Aeronomía, Facultad de Ciencias Astronómicas y Geofísicas, Universidad Nacional de La Plata UNLP, La Plata , ARGENTINA
[b] Servicio Meteorológico Nacional,Ciudad Autonoma de Buenos Aires, ARGENTINA

e-mail: geofisicogianibelli@yahoo.com.ar

RESUMEN

Los cambios inesperados recientemente observados en el comportamiento del ciclo solar 24 respecto del ciclo 23 permiten evidenciar la necesidad de tener índices de actividad geomagnética globales basados en un criterio general amplio de evaluación más que de características regionales. Los sistemas de corrientes equivalentes de la cavidad magnetosférica e ionosférica responden de manera diferente a la conexión Sol-Tierra en la Regiones Polares Norte y Sur, Ecuatoriales y de Latitudes medias con procesos de acoplamiento que no justifican índices específicos para estas regiones. Además los índices involucrados y producidos por la Asociación Internacional de Geomagnetismo y Aeronomía (IAGA) tienen diferentes características de cálculo. El objetivo de este trabajo es presentar la utilidad de un índice de formulación lineal en la representación de la actividad y su determinación a partir de los registros digitales de la intensidad total F del Campo Magnético de la Tierra (CMT), denominado P1F.
Se presentan los resultados para el año 2012 del índice P1F y su análisis comparativo con la suma diaria de los 8 índices trihorarios ap para cada día quieto "Q" determinado por la IAGA para cada uno de los siguientes Observatorios Magnéticos Permanentes (OMP): Yellowknife (YKC, RED INTERMAGNET, Canadá) en el Casquete Polar Norte, Scott Base (SBA RED INTERMAGNET, Estados Unidos) en el Casquete Polar Sur, Boulder (BOU; RED INTERMAGNET, Estados Unidos) en el centro del continente de América del Norte; en el ecuador magnético Huancayo (HUA, RED INTERMAGNET, Perú), los Observatorios de Latitudes Medias de América del Sur que controlan la Anomalía Magnética del Atlántico Sur (AMAS) son Pilar (PIL RED INTERMAGNET, Argentina), Las Acacias (LAS, Argentina) y Trelew (TRW REDINTERMAGNET, Argentina) y finalmente Islas Orcadas del sur (ORC RED INTERMAGNET, Argentina). Los resultados muestran que la amplitud del índice es notablemente diferente en los Casquetes Polares Norte y Sur. Que la actividad en la región ecuatorial es representable por este índice P1F y evidencia su efecto en observatorios como PIL. Que la suma del índice ap tiene su tendencia en días calmos directamente vinculada a los OMP de YCK y BOU y es opuesta para el resto.
Se concluye que el índice P1F facilita el cálculo de la actividad geomagnética registrada en superficie por los OMP en forma global, con una determinación en forma rápida y es que constituye un criterio de comparación de la intensidad de la actividad para diferentes regiones.

Palabras Clave: Geomagnetismo, Actividad Geomagnética, Observatorios Magnéticos, Indices de actividad, Conexión Sol-Tierra.

INTRODUCCIÓN

La actividad geomagnética esta caracterizada por índices que representan la mayor o menor actividad del sistema con diferentes fuentes que representan distintos principios de generación de los procesos de interacción Sol-Tierra. El planeta Tierra tiene un campo magnético principal, generado en su núcleo externo de comportamiento líquido, que por un proceso magnetohidrodinámico genera una dinamo autosustentada que se llama Geodínamo. Sus cambios de polaridad principal en intervalos variables del orden de miles de años se denominan inversiones y cuya actividad desde una conceptualización sistémica se desconoce. A este campo denominado principal se le agrega el campo magnético producido por los minerales contenidos en la corteza terrestre. Su efecto magnetostático es observado desde la profundidad donde se encuentra la isoterma de la temperatura de Courie (dependiendo de la composición y de contenido del material magnético en la corteza) hasta la superficie. Esto constituye el Campo Magnético de la Tierra (CMT). Su representación esta dada por un modelo matemático en esféricos armónicos, de representación equivalente en multipolos ubicados en un sistema de referencia triaxial geocéntrico. A este modelo se lo denomina Campo Geomagnético Internacional de Referencia (International Geomagnetic Reference Field: IGRF). Este modelo es calculado por todos los datos provistos por la red de Observatorios Magnéticos Permanentes (OMP), cada 5 años, desde 1900 y el orden del desarrollo es hasta el 10, el cual por medio de la energía de cada orden multipolar representa el campo principal (Merrill 1998). El orden 1 del desarrollo representa al dipolo centrado y su energía disminuye casi linealmente con el tiempo mientras que el resto de los órdenes no tiene esta tendencia pudiendo aumentar. Gianibelli (2006 a, b) realizó varias predicciones al respecto concluyendo que el orden 2 es el de mayor energía de crecimiento en los próximos 500 años.. Este modelo es el único referente de la actividad de origen interno del CMT bajo el supuesto que el campo cortical se mantiene constante por centurias o más, dependiendo de la actividad tectónica cortical. No es posible hasta la actualidad confeccionar un índice que represente la actividad del CMT ya que solo se dispone del IGRF desde el año 1900 hasta el presente con órdenes del desarrollo hasta el orden 10. Los modelos que se disponen desde el año 1650 tienen órdenes de desarrollo menores. La variación temporal dada por el modelo IGRF se denomina Variación Secular y permite calcular los valores de los elementos geomagnéticos para una época dada. Las Figuras 1 y 2 muestran la actividad de origen interno producida por el Geodínamo y representado por el modelo IGRF y la Figura 3 las Isodinas para el año 2010 con la ubicación de los OMP de PIL, LAS, TRW y ORC y su ubicación en la AMAS. Las figuras 1 y 2 muestran la variación del CMT y la figura 3 el valor de F en la superficie terrestre sobre el cual se superpone el campo magnético de origen externo. Este campo es producido por la interacción Sol–Tierra siendo la fuente la acción solar fotoionizante, térmica, gravitacional y particulada. El efecto producido por la acción particulada proveniente de la atmosfera solar en expansión, llamado Viento Solar (Solra Wind SW) con características hipersónicas, genera una onda de choque y la deformación del CMT en una cavidad denominada Magnetosfera. La región donde se equilibra la energía cinética del SW con la del CMT se llama Magnetopausa y la región entre esta y la onda de choque Magnetovaina. La deformación de las líneas del CMT hacen que estas se

encuentren en una cavidad cerrada del lado diurno y abierta del lado nocturno llamada cola magnetosférica. Esta región y las regiones polares donde surgen (PS) y penetran (PN) las líneas de campo son lugares donde las partículas se enganchan y penetran dentro de la magnetosfera y quedando atrapadas en regiones de forma casi toroidal llamados anillos de Van Allen. También en la superficie de la magnetopausa hay una circulación de partículas que no consiguen penetrar pues es como un escudo cuando el campo magnético que trae congelado y arrastra el SW tiene la misma dirección (de su componente Bz) que la del CMT en ese lugar. Cuando la componente Bz del SW tiene dirección opuesta (Bzsur) se produce el fenómeno de reconexión del campo magnético arrastrado por el SW con las líneas de campo del CMT y la parte diurna de la magnetosfera se abre y permite el ingreso de partículas

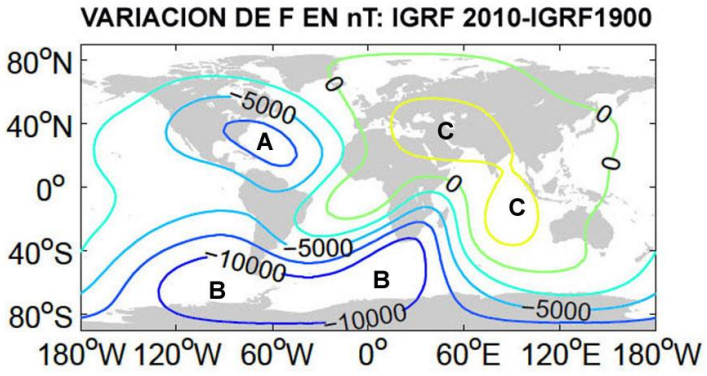


FIGURA 1: Variación de la Intensidad total F del CMT representada por el modelo IGRF. Las regiones A y B muestran disminuciones de F de mas de 7500 nT para la primera y de más de 10000nT para la segunda. Una tercera región C muestra un aumento de F de mas de 2500nT, en 110 años lo que Indica una actividad heterogénea del CMT principal,

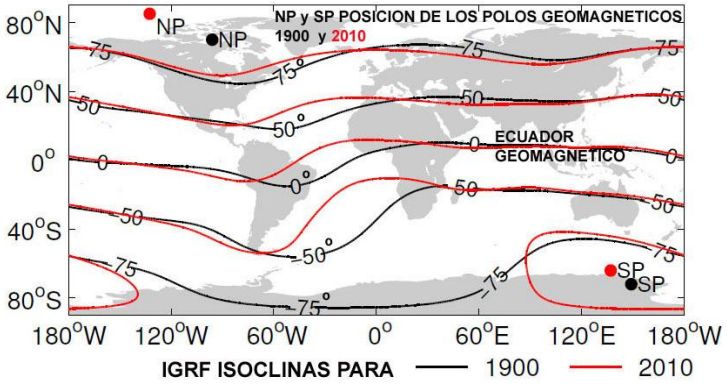


Figura 2: Las isoclinas muestran también la actividad del geodínamo en especial los cambios diferentes de los polos geomagnéticos dados por el IGRF. En la región del Atlántico Sur se evidencia el mayor cambio coincidente con la región de la AMAS y que continúa en la dirección de la dorsal atlántica hacia el norte magnético.

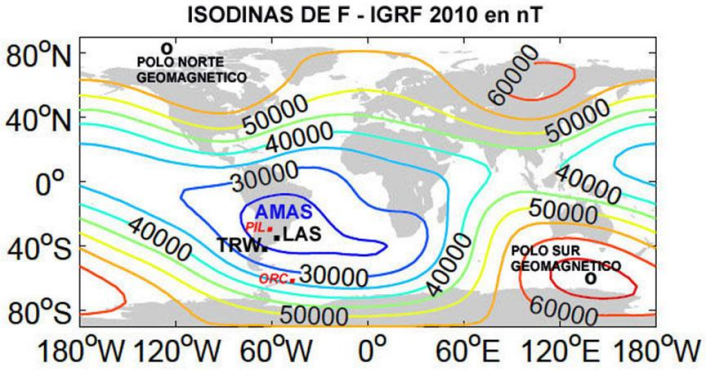


FIGURA 3: IGRF, isodinas de F para el año 2010 y ubicación de la AMAS y los OMP de la República Argentina para su control.

Toda este proceso electrodinámico es continuo teniendo variaciones según cambios abruptos en la velocidad y densidad del SW producido por las regiones activas del sol, donde se generan agujeros coronales, fuentes del SW rápido, de fenómenos abruptos llamados Eyecciones de Masa Coronal (EMC) y fulguraciones solares (rayos X y protones de muy alta velocidad) todas dependientes y moduladas por el llamado ciclo de manchas solares. El efecto en los registros magnéticos de los OMP son variaciones que tiene relación directa con la morfología de dichos procesos denominados tormentas geomagnéticas. A esta fenomenología se le debe agregar la continua acción fotoionizante del sol generando la ionización de las capas altas de la atmosfera terrestre desde los 60km hasta los 900km de altura, denominada Ionosfera (es posible que este tope se extienda hasta casi los 2000km de altura) La acción térmica y gravitacional del Sol y gravitacional de la Luna además de una acción equivalente a una dínamo ionosférico (Ratcliffe 1972) generan circuitos de corrientes equivalentes llamadas ionosféricas cuyo resultado en los registros de los OMP son las denominadas variaciones diurnas calmas, regulares y perturbadas, Parkinson (1983). Este fenómeno está siempre presente en la variación diurna mientas que el de las tormentas geomagnéticas es transitorio, sin embargo los sistemas de corrientes de la magnetosfera también están siempre pero su efecto en los días quietos es despreciable. Las Figuras 4 y 5 muestran los sistemas de corrientes equivalentes en la ionosfera y en la magnetosfera.

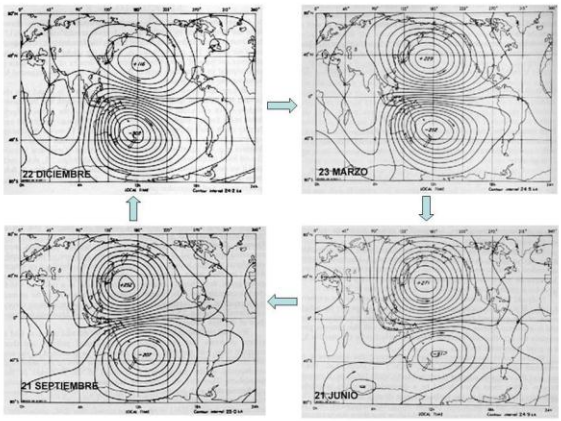


FIGURA 4: Sistema de corrientes ionosféricas representadas por circuitos de corrientes equivalentes y su variabilidad estacional entre las latitudes de **±80º**. En la región ecuatorial magnética se presenta el fenómeno de intensificación del sistema de

corrientes llamado electrochorro ecuatorial, cuyo efecto magnético, por ejemplo en el OMP HUA de la región, es una notable amplificación de la variación diurna lunisolar.

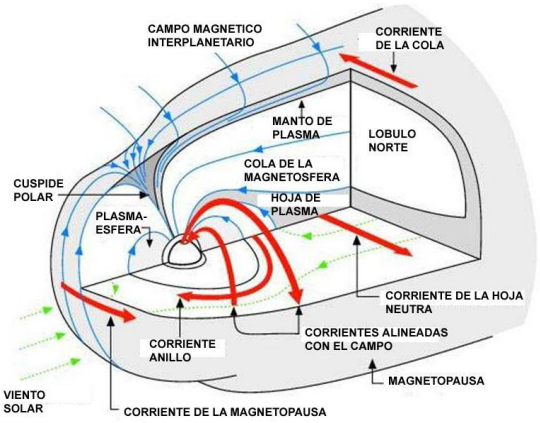


FIGURA 5: Sistema de corrientes equivalentes de la magnetosfera.

Un caso interesante es la región de los casquetes polares donde el acoplamiento SW-CMT es a través de los sistemas de corrientes alineadas con el campo. En estas regiones los sistemas de corrientes equivalentes muestran un efecto de eletrochorro polar en la parte nocturna (Figura 6) También en esta última figura se representan los sistemas de corrientes ionosféricas y electrochorro ecuatorial..

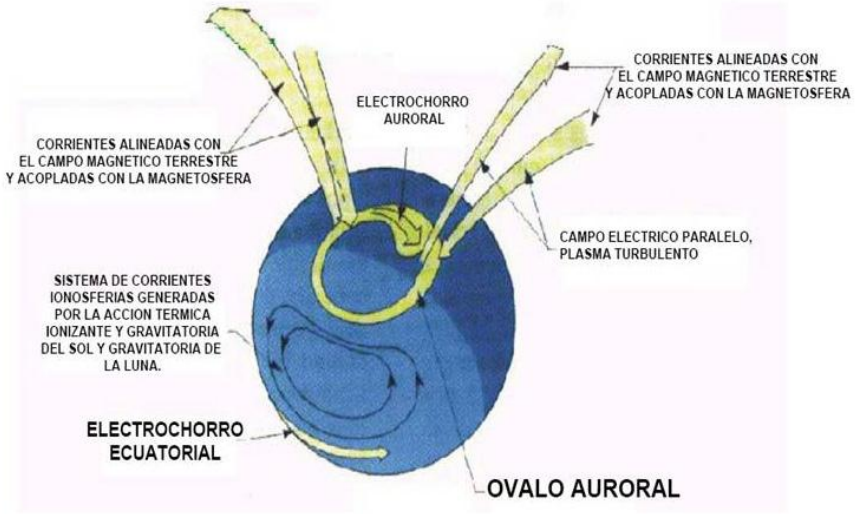


FIGURA 6: Sistemas de corrientes ionosféricas de la región polar norte y su acoplamiento con la magnetosfera a través de las corrientes alineadas con el campo.

Los datos provistos por los OMP en la superficie terrestre son analizados y luego se determinan las componentes multipolares por medio de un análisis esférico armónico, por el cual se determinan los porcentajes sobre cada determinación en un punto cualquiera de la superficie de la Tierra de los aportes de origen externo, interno e inducido. La figura 7 muestra los porcentajes aportados de cada componente. Los índices de actividad geomagnética provistos por la IAGA están evaluando en escalas no lineales los efectos de la variabilidad del aporte de las fuentes externas.

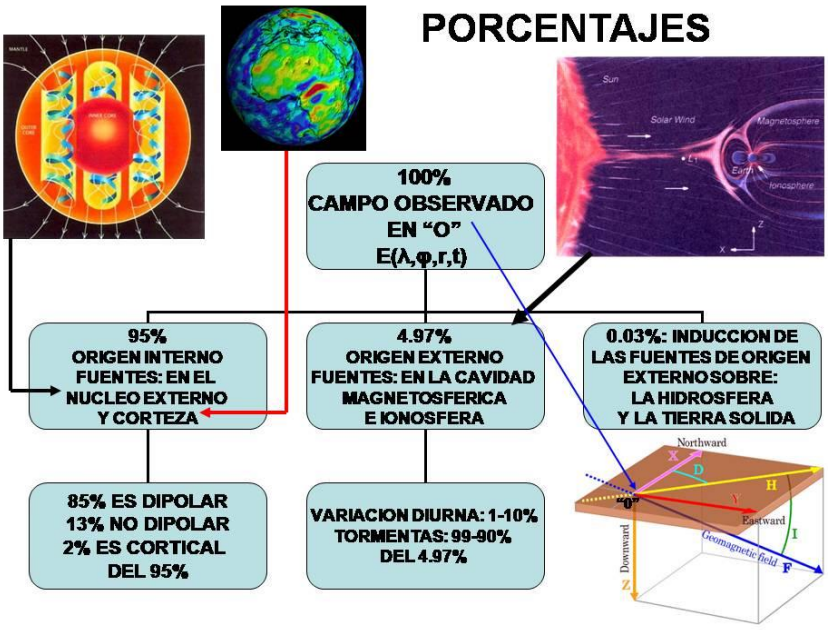


FIGURA 7

El objetivo de este trabajo es presentar la utilidad de un índice de características lineales en la representación de la actividad y su determinación a partir de los registros digitales en OMP de la intensidad total F del CMT, denominado P1F.

MÉTODOS

La clasificación de la actividad geomagnética nace con la clasificación de los registros diarios (magnetogramas) en papel de las variaciones del CMT registradas en los OMP, como quietos, regulares y perturbados. Mayaud (1980) desarrolla todos los aspectos sobre la determinación de los diferentes índices magnéticos, y la clasificación de los días. Se tienen mas detalles en las investigaciones de Rangarajan (1989) Por otra parte Gianibelli y Quaglino (2009) replantean el concepto de día quieto y calmo mediante un índice llamado P1F y que por su aplicación directa es inmediatamente evaluado para intervalos de 24hs o de intervalos menores tal como tres horas. El diseño del índice P1F esta basado en el concepto de la representación en nT de la magnitud F (intensidad total del CMT) y su variabilidad de origen externo para cada OMP mediante la formula 1:

$$P1F_{DIARIO} = \sum_{1}^{1440} \left| F(t_j) - \left\langle F_{1h}(t_j) \right\rangle \right|$$

FORMULA 1: Se aplica como un operador de amplitud de 60 muestras respecto del promedio horario corrido y centrado en cada minuto tj tomadas para cada minuto y obteniéndose 1440 rangos en nT los cuales se suman

Su aplicación a registros digitales en intervalos de alta actividad magnética en el máximo del ciclo solar 23 permitieron determinar que el criterio de selección de 5 días mas quietos en un mes calendario es arbitrario y pudiendo ser no quietos ninguno de los días mas quietos "Q" provistos por la IAGA para cada mes calendario. La aplicación a

los OMP de YKC, BOU, HUA, PIL LAS, TRW, ORC Y SBA permite una evaluación de la fenomenología diferente entre los Hemisferios Norte y Sur y Calotas Polares Norte y Sur. La figura 9 muestra los OMP seleccionados para la determinación del índice P1F para cada uno de los 5 días Q de cada mes (IAGA) en el año 2012.

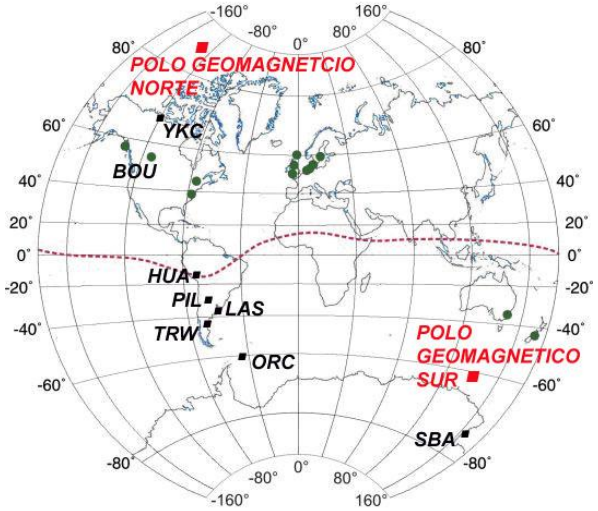


FIGURA 8: Distribución de los OMP en círculos verdes a partir de los cuales se genera el índice planetario Kp, ubicación de los OMP en el que se calculó el índice P1F y ubicación de los Polo Geomagnéticos

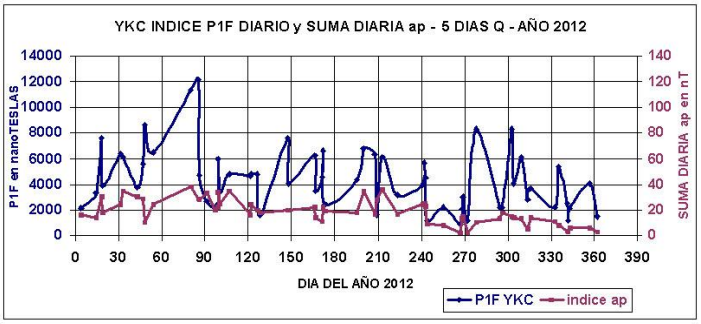
Así mismo la IAGA produce los índices Kp trihorario y su equivalente también trihorario ap en unidades de nT. En este trabajo se calculan las sumas de los 8 valores trihorarios para obtener valores diarios y comparar con el índice P1F diario. La relación del índice Kp adimensional representado de 0 a 9 con intervalos de 1/3 se muestran en la tabla 1.

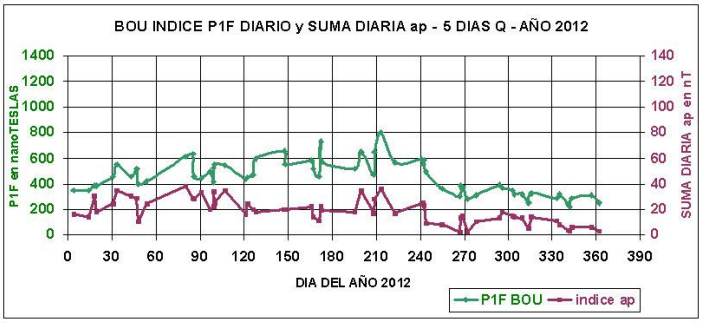
Kp	= 0o	0+	1-	1o	1+	2-	2o	2+	3-	3o	3+	4-	4o	4+
ap	= 0	2	3	4	5	6	7	9	12	15	18	22	27	32
Kp	= 5-	5o	5+	6-	6o	6+	7-	7o	7+	8-	8o	8+	9-	9o
ap	= 39	48	56	67	80	94	111	132	154	179	207	236	300	400

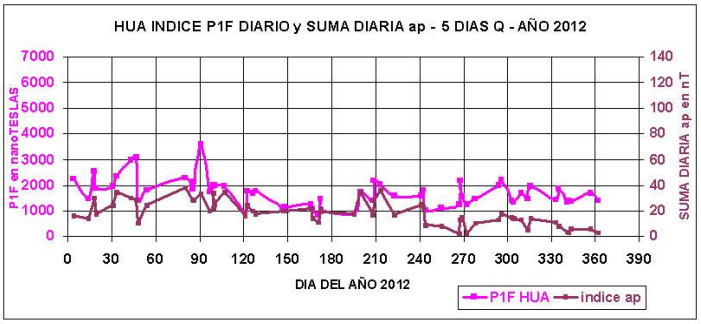
TABLA 1: Escala de relación entre el índice ap en nT y el Kp (adimensional) en escala de tercios siendo por ejemplo 6o equivalente a un 6, 6+ equivalente a un 6.33 y un 7- equivalente a un 6.66; para esos valores de Kp, el índice ap es 80, 94 y 111 nT respectivamente.

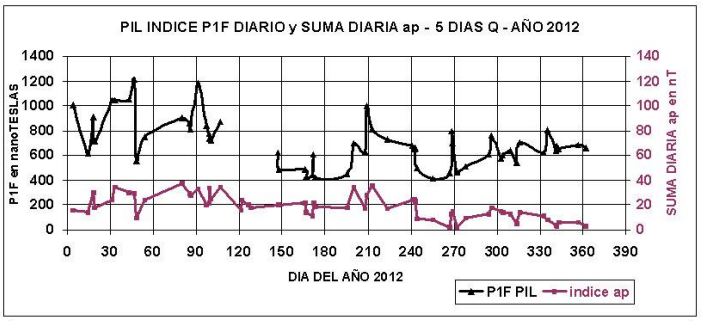
RESULTADOS

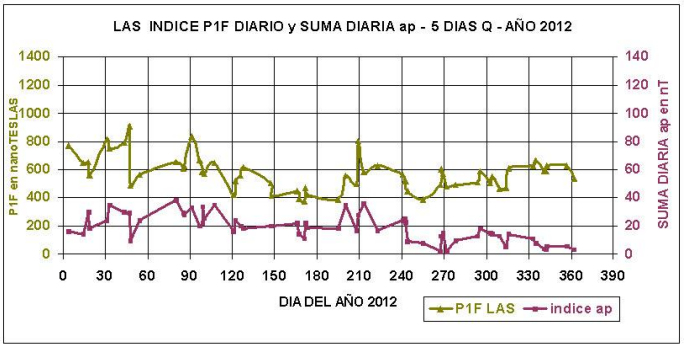
Habiendo determinado el índice P1F diario y la suma de los 8 intervalos trihorarios del índice ap en los OMP de YKC, BOU, HUA, PIL, LAS, TRW, ORC, Y SBA (indicados en la figura 8) se presentan los resultados en la figura 9.


YKC INDICE P1F DIARIO y SUMA DIARIA ap - 5 DIAS Q - AÑO 2012
P1F en nanoTESLAS
SUMA DIARIA ap en nT
DIA DEL AÑO 2012
P1F YKC
indice ap


BOU INDICE P1F DIARIO y SUMA DIARIA ap - 5 DIAS Q - AÑO 2012
P1F en nanoTESLAS
SUMA DIARIA ap en nT
DIA DEL AÑO 2012
P1F BOU
indice ap


HUA INDICE P1F DIARIO y SUMA DIARIA ap - 5 DIAS Q - AÑO 2012
P1F en nanoTESLAS
SUMA DIARIA ap en nT
DIA DEL AÑO 2012
P1F HUA
indice ap


PIL INDICE P1F DIARIO y SUMA DIARIA ap - 5 DIAS Q - AÑO 2012
P1F en nanoTESLAS
SUMA DIARIA ap en nT
DIA DEL AÑO 2012
P1F PIL
indice ap


LAS INDICE P1F DIARIO y SUMA DIARIA ap - 5 DIAS Q - AÑO 2012
P1F en nanoTESLAS
SUMA DIARIA ap en nT
DIA DEL AÑO 2012
P1F LAS
indice ap

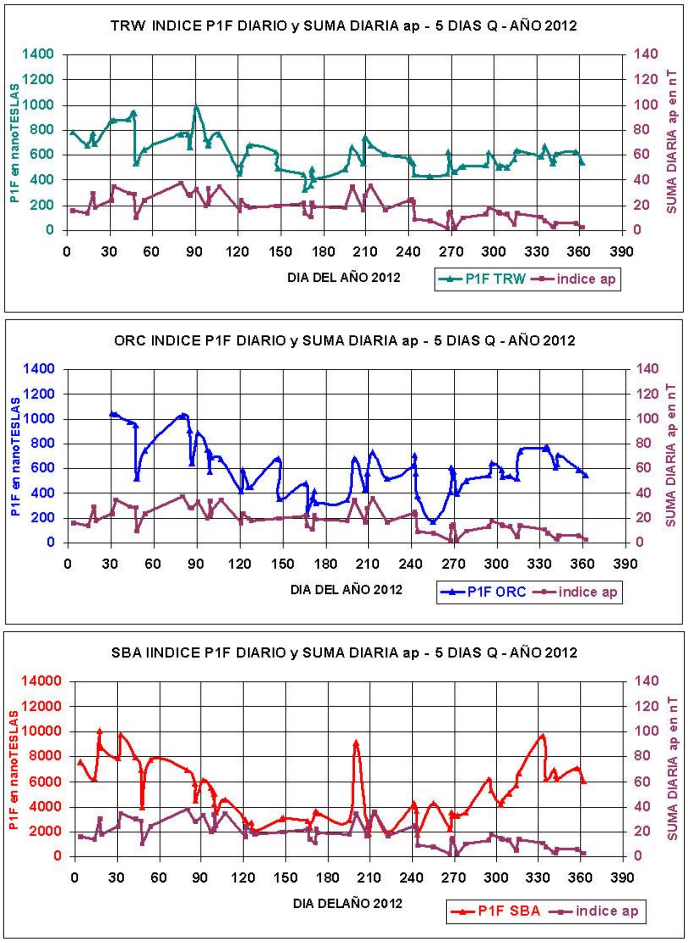


FIGURA 9

DISCUSIÓN

El primer análisis comparativo de los resultados muestra que el P1F de los OMP de YKC y BOU tiene tienen tendencia y curvatura en correlación con la que presenta la suma ap diaria, siendo totalmente opuesto este comportamiento para el resto de los OMP. Los entornos de variación del P1F para YKC es de 12000nT y el de SBA de 10000nT evidenciando que la actividad en las regiones polares Norte y Sur son diferentes. La actividad en el OMP de HUA muestra que su variación es menor que 3800nT mientras que los OMP de BOU; PIL; LAS TRW Y ORC son menores que 1200 nT. En el caso de PIL los valores son más cercanos a 1200 nT demostrando que el efecto del electrochorro ecuatorial es importante y posiblemente tenga incidencia en los valores de P1F de PIL. Cabe señalar en esta discusión que si se evaluara el índice P1F a todos los OMP de la red Intermagnet se tendría un elemento de evaluación diferente, rápido, y comparativo tanto para la sensibilidad en la medición de la actividad magnética como para la selección de los días calmos y perturbados, permitiendo este índice ser utilizado en intervalos mayores que 24hs por ejemplo 48hs, como lo recomienda Mayaud (1980) para la selección de un día quieto utilizando los índices clásicos de latitudes medias. Cabe preguntar ¿Por qué utilizar índices diferentes para la evaluación de la actividad del CMT en distintas regiones y producidas por distintas fuentes si el fenómeno es global con escalas temporales diferentes de variabilidad?

CONCLUSIONES

1) El índice P1F es un estimador de la actividad geomagnética global de origen externo basado en la Intensidad Total F del CMT mediante la aplicación de la formula 1 en forma directa y rápida a las determinaciones de F en nT obtenidos de los registros de magnetómetros de precesión protónica en los OMP, en estaciones magnéticas de repetición y estaciones base,. (Véae Gianibelli 2014 en esta publicación). Como la variable geomagnética F es evaluable en todo el planeta con una escala sin límite, permite la comparación de los efectos de lsocampos externos para diferentes regiones de la Tierra.
2) El punto anterior es probado al verificarse que la actividad geomagnética de las regiones polares son muy diferentes lo cual es un indicativo de que el campo principar tiene una actividad en escala temporal distinta sobre la cual se tiene la actividad de origen externo. Esto es detectable y mensurable a través del índice P1F y no por otro índice.
3) Los índices provistos por la IAGA tienen una menor sensibilidad y además un tiempo de conocimiento de la actividad en forma global con mucho retardo. Aún estimando la actividad mediante el índice k para cada OMP, estación geomagnética de repetición o estación base, seria necesario conocer la amplitud de la escala semilogaritmica de equivalencia. Un análisis directo de esta conclusión es que el valor máximo para el indice ap tomando como suma de los 8 valores trihorarios para su estimación diaria y equivalente para su comparación con el P1F, para el máximo Kp que es de 9, seria de 3200nT como valor máximo para un día extremadamente perturbado. Este resultado es diferente frente al día Q que dio como resultado para P1F de HUA un valor similar. Esto demuestra la sensibilidad del P1F frente a la "rigidez" del índice Kp, y por ende el ap.

REFERENCIAS

Gianibelli, J. C. (2006 a), Predicción lineal de los modelos internacionales de referencia geomagnetica 1900-2005. *Geoacta* vol 31, pp57-62.

Gianibelli, J. C. (2006 b), Sobre la evolución temporal del dipolo y cuadrupolo del campo geomagnetico. *Geoacta* vol 31, pp175-181

Gianibelli J. C. y N. Quaglino. 2009. La Actividad del Campo Magnético Terrestre y la determinación de los días calmos. *Actas XXIV Reunión Científica de la AAGG 2009*.

Geomagnetismo 1a ed. - Buenos Aires: Asociación Argentina de Geofísicos y Geodestas, 2009 ISBN 978-987-25291-1-6. Ciencias de la Tierra. I. Pag. 261-267, 2009.

Gianibelli J. C. 2014. La formación del Recurso Humano en Geomagnetismo. Enviado para a su publicación en *Actas del encuentro E-ICES 10*.

Mayaud P. N. (1980). *Derivation, Meaning and Uuse of Geomagnetic Indices*. AGU Monograph 22. AGU. Washington

Parkinson W.D. (1983). *Geomagnetism*. Sottish Academic Press, London.

Rangarajan G.K. 1989. Indices of Geomagnetic Activity. In *Geomagnetism* Vol 3, ed. J.A Jacobs Academic Press N.Y. pp. 323-384.

Ratcliffe J. A. (1972). *An introduction to the Ionosphere and Magnetósphere*. Cambridge Univ Press Cambridge U.K.

ESTUDIO DE LA VARIACIÓN DE LA PRECISIÓN EN MODELOS DE ONDULACIONES GEOIDALES, SEGÚN EL MÉTODO DE INTERPOLACIÓN UTILIZADO

Goldar J. E.[a], *Gutiérrez C. A.*[a], *GerezG. N.*[a] *y PasteJ. F.*[b]

[a]*Departamento de Agrimensura, FCE y T, Universidad Nacional de Santiago del Estero, ARGENTINA*
[b]*Departamento de Recursos Hídricos, FCE y T, Universidad Nacional de Santiago del Estero, ARGENTINA*

e-mail: jegoldar@unse.edu.ar cgutierrez@unse.edu.ar

RESUMEN

Los modelos de ondulaciones geoidales cobraron importancia con el advenimiento de la tecnología satelital, dada su importancia para transformar alturas satelitales en valores de cota, que son las alturas que se utilizan en cualquier proyecto u obra de ingeniería. En general, estos modelos surgen de la interpolación de valores discretos de puntos de los que se conoce ambas alturas.

La precisión de un modelo, para una determinada zona de estudio, depende de la precisión lograda en la obtención de las alturas que intervienen en el cálculo de la ondulación puntual, de la densidad y distribución geográfica de los puntos con ondulación conocida y de la calidad de la interpolación. El objetivo de este trabajo es demostrar la incidencia del método de interpolación utilizado en la generación de un modelo de ondulaciones geoidales, mediante el análisis de la variación de la precisión de cada modelo.Para ello se realizaron ensayos utilizando cincuenta puntos, a los cuales se determinó oportunamente su ondulación. Estos puntos se encuentran distribuidos en la región centro-norte de la provincia de Santiago del Estero.

Trabajando con SURFER v.10, se generaron modelos con once métodos de interpolación distintos. La calidad de cada modelo fue evaluado mediante el procedimiento de validación cruzada "dejando uno fuera", utilizando todos los puntos generadores del modelo. Finalmente se compararon el error estándar y el coeficiente de variación que arrojó la validación de cada método. Los resultados alcanzados muestran una variabilidad del orden de los 60 cm, entre los diferentes valores de error estándar, confirmando la influencia del método de interpolación en la calidad del modelo resultante. Además se advierte la necesidad de mayores ensayos con las variantes de cálculo que cada método ofrece, pudiendo existir variaciones en la precisión de un modelo con el mismo método, según los parámetros de interpolación adoptados.

INTRODUCCIÓN

La determinación de posiciones a puntos sobre la superficie terrestre mediante tecnología satelital brindo, a los modelos de ondulaciones geoidales, una notable importancia puesto que los mismos permiten transformar alturas satelitales *h* (altura elipsoidal) en valores de cota, que son las alturas que se utilizan en cualquier proyecto u obra de ingeniería. Siendo aun de fundamental importancia cuando son obras de desarrollo longitudinal que atraviesan territorios de distintos países, cuyos orígenes de

altura generalmente no coinciden, como por ejemplo construcción de puentes sobre ríos limítrofes, vías férreas que cruzan dos o más países, etc.
En general, estos modelos surgen de la interpolación de valores discretos de puntos de los que se conoce ambas alturas. Nos referimos a la altura elipsoidal ***h*** y a la cota o altura referida al nivel medio del mar (n.m.m.) ***H***. A partir de ellas se calcula la ondulación puntual ***N*** con la formula aproximada dada por Huerta E. et. al., 2005, ver Ec. (1).
Por su parte, las tres variables que determinan la calidad, en términos de precisión, de un modelo de ondulaciones geoidales para una determinada zona o región son:

1. La precisión en la determinación de la altura elipsoidal ***h*** y la precisión en la determinación de ***H*** cota o altura referida al n.m.m.
2. La densidad y distribución geográfica de los puntos a los que se les determina la ondulación ***N***.
3. El método de interpolación que más se adecue a la zona con la densidad y distribución dadas.

$$h = H + N \qquad (1)$$

El objetivo del presente trabajo es demostrar como incide, en la generación del modelo, el método de interpolación que se emplee, usando para ello el análisis de variación de la precisión, tomando de parámetro el error estándar del procedimiento de validación cruzada de la interpolación.

DESARROLLO EXPERIMENTAL

Para los ensayos se utilizaron un total de cincuenta puntos fijos a los cuales se había determinado oportunamente sus alturas tanto elipsoidales como s.n.m.m. De estos 50 puntos, 46 fueron seleccionados de dos modelos regionales, generados entre los años 2009 y 2010 oportunamente publicados en Goldar E. et. al, 2010 y Ciappino P. et. al, 2011.
El detalle de los puntos seleccionados se presenta en la Tabla I, donde se indican el nombre del punto y la ondulación puntual determinada en cada caso. De estos 50 puntos, 12 corresponden a nodales de la malla nacional de nivelación de primer orden, 7 son puntos fijos (PF) de distintas líneas de nivelación de la red nacional de nivelación de primer orden; otros 5 puntos pertenecen el acueducto Santa Fe-Santiago del Estero medido por la Universidad Nacional del Litoral. De estos primeros 24 puntos, se conocían las alturas s.n.m.m. y se determinaron, oportunamente, sus alturas elipsoidales. De los 26 puntos restantes; 5 pertenecen a la red de referencia catastral de la provincia, en cuyo caso se conocía sus alturas elipsoidales. Otros 10 puntos pertenecen a itinerarios materializados a la vera de la Ruta Provincial Nº 1, Autopista Santiago-La Banda, Av. Núñez del Prado y calle Libertad de Santiago del Estero, y se obtuvieron de un modelo local de esa zona (Goldar E. et. al., 2007). Otros 7 puntos corresponden a otro modelo local la zona La Banda-Clodomira (Goldar E. et. al., 2011), realizado sobre las trazas de los canales La Cuarteada, Norte y Drenaje. Para estos 22 puntos se determinó, oportunamente, sus alturas elipsoidales y s.n.m.m. La selección se completa con 4 puntos con cota y altura elipsoidal, uno de la red POSGAR 94 y tres de POSGAR 07, cuyas alturas se obtuvieron del Instituto Geográfico Nacional.

En la tabla II se presenta un resumen del origen de los puntos utilizados en el ensayo.

Tabla I. Detalle de puntos fijos seleccionados

Numero	Punto	Ond. Med. (N)	Numero	Punto	Ond. Med. (N)
1	Tucumán (198)	29,370	26	4-CAPI	25,813
2	San Antonio (171)	26,980	27	7-LORE	25,314
3	Santiago (184)	25,470	28	12-SUNC	24,389
4	Quimilí (195)	24,574	29	49-ESPE	29,060
5	Hoyon (178)	26,431	30	489	25,090
6	Rapelli (203)	28,080	31	493	24,920
7	Joaquín V. Gonz. (212)	28,341	32	495	25,150
8	San Pedro (183)	28,040	33	498	25,750
9	Monte Quemado (206)	26,319	34	503	25,050
10	Colonia Dora	26,998	35	506	25,530
11	Campo Gallo (200)	23,511	36	PF 5	24,678
12	Taco Pozo (209)	26,282	37	PF 8	24,951
13	PF14 L141-A	25,661	38	PF 12	24,824
14	PF15 L141-A	25,590	39	PF 16	24,823
15	PF16 L141-A	25,463	40	CC 7	26,604
16	PF17 L141-A	25,381	41	CC 11	26,657
17	PF1 Libertad	25,230	42	CN 6	26,719
18	PF12 L182	24,577	43	CN 13	26,841
19	PF20 L182	24,532	44	CN 20	26,901
20	CD-TO06 Añatuya	29,274	45	CD 1	26,620
21	CD-TO09 Añatuya	29,251	46	CD 10	26,420
22	CD-TO11 Añatuya	29,472	47	EDBO	28,721
23	CD-TO04 Añatuya	27,094	48	RMTO	24,179
24	AN-VM01 Añatuya	27,106	49	CRES	22,187
25	1-SAMP	28,812	50	MINE	22,079

Tabla II. Origen de los puntos fijos

Nº de Ptos.	Tipo de Punto
12	Nodales
7	PF Red Nac. de Nivelación
5	Univers. Nac. Del Litoral
5	Red DGC
10	Modelos Locales
7	Traza de Canales
4	POSGAR 07

Los puntos seleccionados de esta manera quedan distribuidos en una superficie aproximada de 137.000 Km^2. Esta superficie comprende la región centro-norte de la provincia de Santiago del Estero y pequeñas porciones de las provincias vecinas como Salta, Tucumán, Chaco, Santa Fe y Catamarca. En la Fig. 1 se muestra un corte de Imagen de Google Earth con la ubicación relativa de los puntos seleccionados.



Figura 1. Ubicación de los puntos utilizados para la generación de los modelos

Equipos y Procedimientos para la Determinación de Alturas

Elipsoidal h:

Se usaron receptores GPS marca TRIMBLE modelo R6, 72 Canales, Código GPS L1 C/A, Portadora de Ciclo Completo L1/L2. La precisión nominal de este instrumental, según el fabricante es para levantamientos estáticos y FastStatic (estáticos rápidos), Horizontal. ±5 mm + 0,5 ppm RMS, Vertical. ±5 mm + 1 ppm RMS.

El método empleado fue diferencial estático puro, con sesiones de dos horas y media a tres horas, con intervalo de datos de 5 segundos en vectores de hasta 260 km; tomando

como base la estación permanente más cercana de la red RAMSAC (Red Argentina de Monitoreo Satelital Continuo) que a su vez forma parte del marco de referencia oficial POSGAR 07. Este fue el procedimiento general para las alturas de los Nodales, midiéndose, para los demás puntos, vectores más cortos usando los Nodales de base y haciendo observaciones estáticas de una a dos horas de duración.

H (cota o altura referida al n.m.m.):
Para la determinación de las cotas se empleó, en algunos casos un nivel automático Zeiss modelo Ni2 con dispositivo de placas planos paralelas, que permite obtener una lectura directa de 1 mm, pudiéndose apreciar por medio del tornillo micrométrico 0,25 mm. En otros caso se utilizó un nivel digital marca TRIMBLE modelo DiNi 0,3, con una precisión nominal de fábrica con mira estándar con escala codificada de 1,3 mm. El método de nivelación fue doble estación equidistante.
En todos los casos la nivelación geométrica de precisión se vinculó a puntos fijos o Nodales de la Red Nacional de Nivelación Primer Orden.

Densidad y Distribución Geográfica de los Puntos con Ondulación

Esta variable es la que menos se puede o controlar en virtud de que siempre se estará en función de la existencia o no de las monumentaciones de los puntos pertenecientes a la Red Nacional de Nivelación, ya sea estos nodales o puntos fijos de las líneas de primer orden entre nodales.
La existencia de puntos cercanos, a no más de 10 Km., con valores de cota referida al n.m.m. resulta de vital importancia puesto a partir de estos se puede densificar el territorio de la Provincia. Así fue como se dio valor de cota a los pocos puntos de la red de referencia catastral, a los que se pudo ubicar puntos cercanos de la red de nivelación. También es importante mencionar el hecho de que ya algunos puntos del marco de referencia POSGAR 07 ya cuenta con valores de cota por lo que fueron empleados para la generación de este modelo.

Calidad de la Interpolación

La calidad de la interpolación, tiene que ver con el método de interpolación usado, ya que cada uno de ellos presenta características particulares según la densidad y distribución de los datos.
En nuestro caso trabajamos con el programa SURFER v.10, ensayando con los once métodos factibles de utilizar, cuyas características principales se resumen a continuación:
Inversa a una potencia de la distancia:
Es un interpolador de medias ponderadas, puede ser exacto o un interpolador de suavizado, se ponderan los datos durante la interpolación de tal manera que la influencia de un punto relativo a otro disminuye con la distancia desde el nodo de la red. Cuando la potencia aumenta, el valor de nodo de la malla se acerca al valor del punto más cercano. Para una potencia menor, los pesos se distribuyen más uniformemente entre los puntos de datos vecinos. Una de las características de este método es la generación de los "ojos de buey" en torno a la posición de las observaciones dentro de la zona cuadriculada. Se puede asignar un parámetro de suavizado reducir el efecto de "ojo de buey".

Curvatura Mínima:
Muy utilizado en las ciencias de la tierra. Es análogo a una placa delgada, elástica lineal que pasa a través de cada uno de los valores de datos con una cantidad mínima de flexión. Genera una superficie lo más lisa posible al tratar de cumplir con sus datos lo más fielmente posible. No es un interpolador exacto, esto significa que los datos no están siempre provistos de exactitud. Los valores de nodo de cuadrícula se vuelven a calcular hasta que los sucesivos cambios en los valores son menores que el valor máximo de Residuos, o el número máximo de iteraciones se alcanza. Utiliza polinomios con el fin de proporcionar una serie de parches o piezas que resultan en una superficie que presenta la primera y segunda derivadas continuas. Asegura continuidad en: elevación (que la superficie no tenga picos), en gradiente (que la superficie no tenga cambios de pendiente abruptos) y en curvatura (que la superficie posea mínima curvatura).
Vecino Natural:
En este método se forman triángulos con los puntos de datos. El punto es tal que comparte vértice con los triángulos vecinos. Los vecinos naturales forman un polígono cerrado (polígonos de Thiessen) alrededor de un punto de control. El área asociada con polígonos Thiessen se denomina "área de prestado". El algoritmo de interpolación Vecino Natural utiliza una media ponderada de las observaciones vecinas, donde los pesos son proporcionales a la "zona de prestado".
Vecino Más Próximo:
Es uno de los métodos mas simples, asigna el valor del punto más cercano a cada nodo de la red.
Regresión Polinómica:
Se utilizan para definir grandes tendencias y patrones en los datos. no es realmente un interpolador porque no trata de predecir valores de Z desconocidos.
Función de Base Radial:
Ees un grupo diverso de métodos de interpolación de datos. Dentro de este método la variante por defecto Multicuadràtica es considerado por muchos como el mejor. Todos los métodos de Función de Base Radial son interpoladores exactos.
Triangulación con Interpolación Lineal:
El algoritmo genera una malla irregular de triángulos (Triangulacion de Delaunay) cuyos vértices coinciden con los puntos conocidos. Este método es un interpolador exacto.
Polinomio Local: asigna valores a los nodos de la red mediante el uso de mínimos cuadrados ponderados que se ajustan a los datos dentro de la elipse de búsqueda. Este método se ajusta mas a superficies relativamente lisas dentro de la vecindad de búsqueda.
Método modificado de Shepard:
Es un método similar a Inversa a una potencia de la distancia, modificado por estimación local de mínimos cuadrados, pero no tiende a generar patrones de ojo de buey sobre todo cuando se utiliza un factor de suavizado. Es rápido y exacto, a menos que se especifique el factor de suavizado. Puede extrapolar valores Z fuera del rango de los datos.
Kriging:
Es uno de los métodos más flexibles y es útil para el grillado de casi cualquier tipo de datos. Con el variograma lineal, por defecto, es bastante eficaz con la mayoría de los

conjuntos de datos. Para los conjuntos grandes de datos, Kriging puede ser bastante lento, buenos resultados se pueden lograr con menos de 250 puntos de datos. Este método puede extrapolar valores fuera del rango de la red de los datos.

Medias Móviles:

Es más aplicable a los conjuntos de datos grandes y muy grandes (mayores a 1000 observaciones), dado a que se extraen las tendencias y las variaciones de escala intermedia de grandes conjuntos de datos ruidosos, siendo un método rápido aun para los conjuntos de datos muy grandes. También es una alternativa razonable de grillado al vecino más cercano, cuando se pretende la generación de redes de grandes conjuntos de datos, regularmente espaciadas.

Planteo del Problema

Habiéndose tomado los recaudos de precisión en la determinación de alturas y estando fuertemente condicionada el manejo de la variable densidad y distribución de los puntos generadores, el problema de la calidad del modelo, en términos de precisión, se reduce a mejorar la calidad de la interpolación. Para ello se generaron once modelos, uno por cada método de interpolación, manteniendo en cada método los parámetros de cálculo que el programa propone por defecto, como los más óptimos.

Para la validación de cada modelo y poder comparar los resultados de cada método de interpolación se utilizo, en este caso, el método denominado "***validación cruzada dejando uno fuera***".

En trabajos anteriores, referenciados en este artículo, tales como Goldar E. et. al, 2007, 2010 y 2011 y Ciappino P. et. al, 2011, la validación de los modelos se efectuó empleando el método o enfoque que se denomina *tabla de aprendizaje y tabla de prueba*. Esta técnica consiste en tomar del conjunto total de datos, un grupo al que se denomina *prueba o testeo*, quedándonos con un conjunto al que denominados *datos de entrenamiento*. Con estos últimos se llevan a cabo las iteraciones. Finalmente se comparan los valores interpolados del modelo con el conjunto *prueba o testeo*.

Para este trabajo se cambio a validación cruzada dejando uno fuera, siguiendo a Rodríguez O., 2014, quien plantea que el enfoque *tabla de aprendizaje y tabla de prueba*, presenta dos grandes problemas:

1. La estimación del error tiende a ser muy variable, en función de cuáles datos quedan en la tabla de aprendizaje y cuáles en la tabla de prueba.
2. Es mucho mayor el error en la tabla de prueba que en toda la tabla de datos.

Así el método de validación cruzada dejando uno fuera presenta la ventaja de que la estimación del error es mucho más estable. Esta técnica sirve para comparar valores estimados por los modelos con valores reales, es la más usada. Es un método objetivo para evaluar la calidad de un método de grillado, o para comparar la calidad relativa de dos o más métodos de cuadriculado.

La validación cruzada permite evaluar la calidad relativa de la red mediante el cálculo y la investigación de los errores de cuadriculado. Estos errores se calculan mediante la eliminación de la primera observación del conjunto de datos. Utilizando el resto de datos y el algoritmo especificado para interpolar, se obtiene un valor interpolado en la ubicación de la primera observación que fue eliminada. Usando el valor de observación conocido en esta ubicación, se calcula el error de interpolación con la ecuación (2), donde e_c es el error de grillado, V_i el valor interpolado y V_o el valor observado en dicha ubicación.

$$e_c = V_i - V_o \qquad (2)$$

Luego, la primera observación se restaura en el conjunto de datos y se retira la segunda observación del mismo. Utilizando los datos restantes, incluyendo la primera observación y el algoritmo definido, se interpola un valor en el lugar de la segunda observación. Utilizando el valor medido en la localización de esta segunda observación, se determina el error de interpolación con la ecuación (2).
Continuando el proceso, la segunda observación se coloca nuevamente en el conjunto de datos y el proceso sigue iterativamente de igual manera para la tercera observación; luego la cuarta, la quinta, etc., hasta incluir la observación *N*.
De esta manera, el proceso genera *N* errores de interpolación, a partir de los cuales pueden calcularse varios estadísticos de interés para contar con una medida objetiva de la calidad del método de interpolación utilizado en cada caso.

RESULTADOS

Cada validación entrega un reporte de los estadísticos resultantes en dicha operación. En el mismo, se resume toda la información sobre el método y los parámetros utilizados para el grillado y los puntos de la validación. Luego, el reporte presenta cinco secciones donde muestra todos los valores que arroja el análisis estadístico, separado en estadísticas univariadas de los datos y de la validación cruzada; así como la regresión residual, la correlación entre variables y el rango de correlación en los puntos de validación.
Tanto las estadísticas univariadas de los datos como los de la validación cruzada muestran estadísticos tales como: media, mediana, media geométrica, media armónica, raíz media cuadrática, media intercuartil, varianza, desviación estándar, rango intercuartil, rango, diferencias medias, desviación absoluta mediana, desviación absoluta promedio, diferencia media relativa, error estándar, coeficiente de variación, asimetría, curtosis, entre otros.
En nuestro caso utilizamos para la comparación el error estándar que en términos estrictamente estadísticos, es el error debido a la estimación de la media poblacional a partir de las medias muestrales. Es este caso un valor medio de los errores calculados con la ecuación (2), es decir, la diferencia entre el valor estimado por interpolación y el valor medido en cada punto de la validación cruzada. Es un indicador de la precisión de los puntos interpolados.
El otro indicador estadístico que utilizamos es el coeficiente de variación que es una medida de dispersión relativa de los datos, en este caso de los errores de estimación. Se obtiene de la relación entre la desviación típica muestral y la media muestral; suele multiplicarse por 100 para que el resultado sea una relación porcentual. En general para trabajos con datos de campo se considera que valores de hasta 0,05 (5%) son muy buenos, entre 0,05 (5%) y 0,15 (15%) buenos y aceptables hasta 0,2 (20%).
En la tabla III presentamos los resultados obtenidos para cada método evaluado mostrando los estadísticos seleccionados para la comparación.
Por su parte, en la fig. 2 se presenta una grafica de comparación de los valores de error estándar que arroja la validación cruzada de cada método de interpolación ensayado.

Tabla III. Resultados de la Validación Cruzada de cada método

Método	Error Estándar (m)	Coeficiente de Variación
Vecino más Cercano	0.229	0.056
Medias Móviles	0.199	0.049
Regresion Polinómica	0.089	0.024
Polinomio Local	47.06	N/A
Triangulación con Interpolación Lineal	0.211	0.053
Mínima Curvatura	0.245	0.066
Vecino Natural	0.197	0.049
Inversa a una potencia de la Distancia	0.091	0.025
Shepard's Modificado	0.726	0.191
Kriging	0.200	0.054
Funciones de Base Radial	0.341	0.092

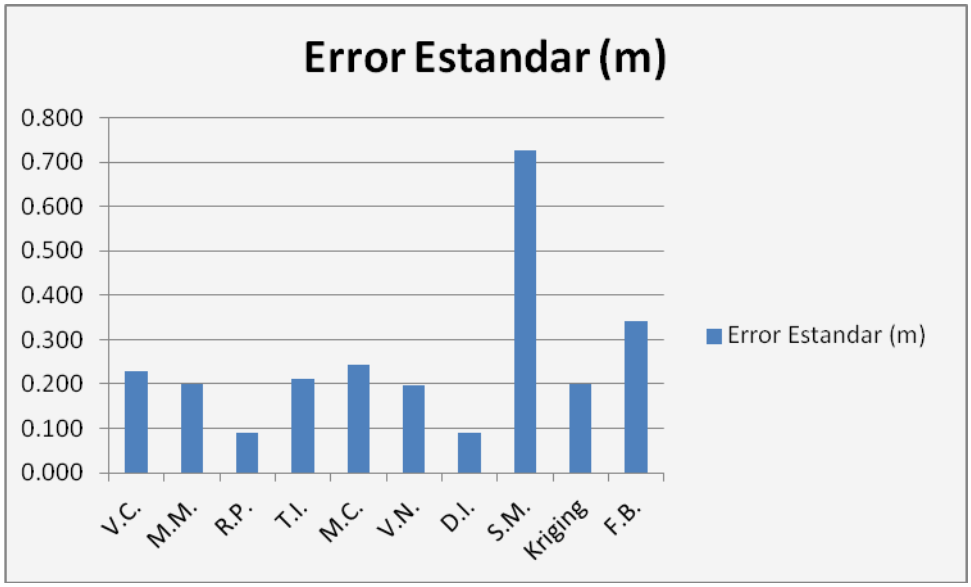


Figura 2. Comparación de Errores Estándar de la Validación Cruzada de cada Método

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Como puede advertirse en la tabla III, se omite el método Polinomio Local puesto que el mismo alcanzo valores que hace inutilizable dicho método. Descartando este método tenemos una variabilidad de 0,637 m. entre el máximo y el mínimo de los errores estándar, lo que nos confirma el grado de influencia que tiene el método de interpolación en la calidad del modelo resultante.

Por otra parte se pueden diferenciar tres entornos de error donde se ubican los diferentes métodos, teniendo por debajo de los 10 cm a Regresión Polinómica e Inversa a una potencia de la Distancia. En un entorno de entre 10 cm y 20 cm se ubican Medias Móviles, Vecino Natural y Kriging. Finalmente en un entrono de entre 20 cm y 40 cm

están Vecino más Cercano, Triangulación con Interpolación Lineal, Mínima Curvatura y Funciones de Base Radial.
También habría que descartar en principio el método de Shepard Modificado, dado que su error estándar se aleja bastante de los restantes métodos y presenta un coeficiente de variación apenas aceptable. Con ello la variabilidad final de los nueve métodos restantes está en un valor de unos 25 cm.
En conclusión se observa la gran incidencia que el método de interpolación utilizado tiene en la precisión del modelo resultante.
Por otro lado se advierte la necesidad de mayores ensayos, sobre todo trabajando en distintas variantes de un mismo método de interpolación o sea cambiando sus parámetros de cálculo, dejando planteada la posibilidad de que existan variaciones en la precisión de un modelo obtenido con un mismo método de interpolación pero variando en todas sus alternativas los parámetros de interpolación.

REFERENCIAS

Ciappino P. Goldar E., Costa W. y Moreno J., 2011. Modelo de ondulaciones geoidales en base a nodales para el centro-norte de Santiago del Estero. *ACTAS E-ICES 6 (Internacional Center For Earth Sciences), Comisión Nacional de Energía Atómica Ciencias de la Tierra. I. Título. CDD 570*

Goldar E., Ciappino P., Costa W. y Paste, J. 2007. Modelo de ondulaciones geoidales en una zona de planicie de Santiago del Estero, *Investigaciones en Facultades de Ingeniería del NOA (2007) Tomo I. Capitulo III*, 26-30.

Goldar E., Ciappino P., Gutiérrez C. y Frías J., 2010. Modelo regional de ondulaciones geoidales en el centro-norte de Santiago del estero. *XXV Reunión Científica de la Asociación Argentina de Geodestas y Geofísicos.* Córdoba, Argentina.

Goldar E., Ciappino P., Paste J., Sandez, D. y Gutiérrez, C. 2011 modelo local de ondulaciones geoidales en Santiago del Estero zona La Banda – Clodomiro, *Investigaciones en Facultades de Ingeniería del NOA VOLUMEN VII Tomo I*, 565-570.

Huerta E., Mangiaterra A. y Noguera G. 2005. *GPS Posicionamiento satelital*. 1° Ed. UNR Editora, Rosario, Argentina.

Rodriguez O. Enfoque: “tabla de aprendizaje y tabla de testing” (the validation test approach) En: Programa Iberoamericano en formación de minería de datos [fecha de consulta 02 de mayo de 2014]. Disponible en: http://rstudio-pubs-static.s3.amazonaws.com/95717bc3a26aa 22e4683ac9db 0b670213b67.html

DIAGNOSTICO DE LA CALIDAD DE AIRE EN LA CIUDAD DE MALARGÜE EMPLEANDO LÍQUENES COMO BIOMONITORES

Hernández J. M.[a], *Papú O.*[b], *Cañas M. S.*[a]

[a]*Facultad de Tecnología y Ciencias Aplicadas, UNCa, ARGENTINA*
[b]*ICES- CNEA, ARGENTINA*

e-mail:netehernandez@hotmail.com

RESUMEN

En el presente estudio se evaluó la calidad de aire de la ciudad de Malargüe (Mendoza) mediante trasplante de líquenes empleados como biomonitores. Para ello se recolectaron talos de la especie Parmotrema austrosinense (Zahlbr.) Hale en un sitio poco antropizado, ubicado a unos 55 km de San Fernando del Valle de Catamarca y se trasplantaron a siete sitios en la ciudad de Malargüe. Luego de tres meses de exposición se analizaron en las muestras parámetros marcadores de estrés por polución (pigmentos fotosintéticos, proteínas y malondialdehído). Mediante análisis estadístico, se detectó claramente un efecto producido por el trasplante liquénico, con diferencias significativas entre la muestra basal y las muestras trasplantadas. Si bien, en general, no se observaron diferencias significativas entre los líquenes trasplantados en diferentes sitios de la ciudad de Malargüe para los parámetros analizados; sí se observaron en algunos sitios diferencias significativas respecto del Control, destacándose los sitios correspondientes al Relleno Sanitario Municipal y la Estación de Piscicutura, donde se detectaron mayores signos de estrés en el biomonitor. Los menos afectados fueron los talos trasplantados al Planetario, Aeropuerto y a la Planta Transmisora de Radio. Se infiere que, el monitoreo activo mediante el liquen P. austrosinense resulta una alternativa válida para el estudio de calidad de aire en Malargüe y en áreas con características ambientales similares.

INTRODUCCIÓN

Las técnicas de biomonitoreo consideran la respuesta de un organismo ante determinadas condiciones de polución, y por ello son ampliamente utilizadas en estudios ambientales. En particular, se emplean para obtener información respecto de la calidad atmosférica, tanto en áreas urbanas como remotas (Bergamaschi, L. et al., 2007; Conti M.E. and Cecchetti G., 2001; Mohaded C.B. et al., 2008).
Los organismos que permiten cuantificar la calidad del aire y cuyos parámetros cambian en respuesta a la polución se denominan "biomonitores" (Basile A., 2008). Estos pueden clasificarse en "sensitivos" o "acumulativos". Los biomonitores sensitivos pueden ser usados como integradores del estrés causado por contaminantes, y como un sistema de alarma preventivo. Presentan alteraciones visibles como cambios morfológicos relacionados con el ambiente, y/o cambios físicos y químicos como alteración en la actividad de diferentes sistemas enzimáticos, así como en las actividades fotosintéticas o respiratorias. Los biomonitores acumulativos tienen la habilidad de almacenar contaminantes en sus tejidos y son usados para la medición integrada de las concentraciones de contaminantes en el ambiente (Conti M.E. and Cecchetti G., 2001).

En los bioindicadores/biomonitores de respuesta, las alteraciones metabólicas son usualmente las primeras respuestas cuantificables que permiten detectar rápidamente la presencia de contaminantes, su acción aditiva o sinérgica y el grado de alteración ocasionado sobre el organismo (Shugart L.R., 1996). Las respuestas fisiológicas en un bioindicador han sido propuestas como indicadoras aún de bajos niveles de contaminación, ya que si bien la concentración de algunos contaminantes en el aire puede no ser lo suficientemente elevada como para ser detectada por métodos convencionales (monitoreo por sensores químicos), ésta puede provocar modificaciones permanentes en un bioindicador por efecto acumulativo (Rabe R. and Kreeb K.H., 1979).

Los líquenes son sensibles a la contaminación del aire y por lo tanto son muy apropiados como indicadores biológicos para el monitoreo de la calidad ambiental (Conti M.E. and Cecchetti G., 2001; Cañas M.S. and Pignata M.L., 2003; González C.M. and Pignata M.L., 1994). Esto es debido a su gran dependencia de la atmósfera para la nutrición y a la falta de cutícula cerosa y estomas, lo que permite que muchos contaminantes sean absorbidos por toda la superficie del talo (Bergamaschi L. et al., 2007).

Actualmente, los líquenes son utilizados como biomonitores en muchas ciudades del mundo, incluso de Argentina (Carreras H.A. and Pignata M.L., 2001; Fuga A. et al., 2008; Koz B. et al., 2010). Esto representa una importante contribución a la gestión de la calidad del aire en nuestro país, ya que las mediciones de material particulado y otros tipos de polutantes requieren de equipamiento técnico costoso, no disponible aún en la mayoría de las ciudades.

Hay dos metodologías para el uso de líquenes como bioindicadores La primera, que es también la más utilizada, se basa en el empleo de líquenes ya presentes en el área de estudio (biomonitoreo pasivo). Alternativamente, cuando los líquenes están ausentes en un área, pueden ser trasplantados desde un área natural poco antropizada a la zona investigada (biomonitoreo activo). En este sentido, el trasplante de la especie *Parmotrema austrosinense* (Zahlbr.) Hale ha sido empleada para estudiar la calidad del aire en áreas urbanas y remotas de la provincia de Catamarca (Palomeque L.I., 2008; Mohaded Aybar C.B. et al., 2010; Ocampo A.I. et al., 2011).

En el presente estudio se evaluó la calidad de aire de la ciudad de Malargüe (Mendoza) mediante biomonitoreo activo, empleando el liquen *P. austrosinense*. Para ello se cuantificaron parámetros de respuesta a polutantes atmosféricos, tales como el contenido de clorofilas, malondialdehído y proteínas solubles (Cañas M.S. y Pignata M.L., 2003; Shukla V. y Upreti D.K., 2007; Mohaded Aybar C.B. et al., 2008).

MÉTODOS O DESARROLLO EXPERIMENTAL

Líquenes y trasplante

Se realizó trasplante en bolsa (González C.M. y Pignata M.L., 1994) de la especie liquénica *Parmotrema austrosinense* (Zahlbr.) durante un periodo de tres meses de duración (Marzo-Junio de 2014). Para ello, se colectaron talos liquénicos en un lugar considerado de "aire limpio" en cercanías de la localidad de Colpes (Departamento Ambato, provincia de Catamarca) a unos 55 km de la ciudad capital. Los líquenes fueron cuidadosamente limpiados a fin de eliminar material extraño, así como restos de corteza de los arbustos que les sirven de soporte. Posteriormente, los talos fueron colocados en bolsas de malla de nylon (aproximadamente 20 talos en cada una). Las

bolsas liquénicas se colocaron sobre árboles en 3 sitios dentro del área de colección, y a una altura de tres metros sobre postes en 7 sitios de la ciudad de Malargüe (ver Fig. 1.) Luego del período de exposición, las bolsas liquénicas fueron recuperadas. Parte del material fresco (sin trasplantar) fue reservado para su análisis, a fin de obtener una muestra basal para el estudio. En el laboratorio, los talos fueron triturados para lograr homogeneidad, y se colocaron en freezer a - 4º C hasta su análisis.

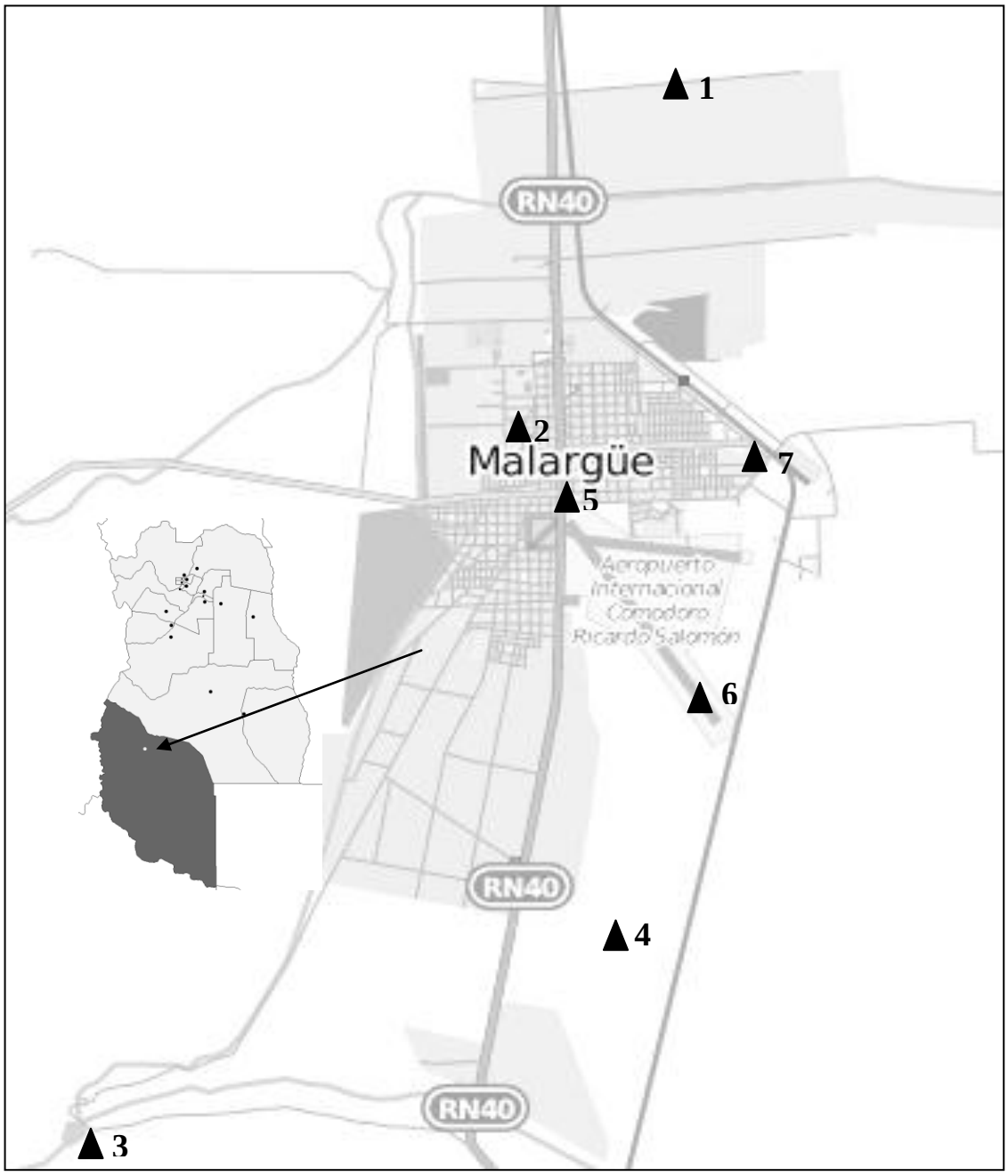


Figura 1: Ubicación de los sitios de monitoreo en Malargüe, Mendoza. Sitio1: Planta transmisora de la radio LV19. Sitio 2: Planetario de la Ciudad. Sitio 3: Estación de piscicultura, criadero de truchas. Sitio 4: Relleno Sanitario Municipal. Sitio 5: Intersección de las avenidas San Martín y Roca (Reloj de Malargüe). Sitio 6: Aeropuerto de Malargüe. Sitio 7: Planta de gas de la Empresa Eco Gas.

Área de estudio

Malargüe es una ciudad argentina, capital del departamento homónimo. Es una de las principales ciudades del sur de la provincia de Mendoza. Se encuentra a 421 km de la capital provincial, coordenadas: 35°28′28″S 69°35′07″O, a una altura de 1475 m s.n.m. La temperatura promedio de enero es de 20 °C, mientras que en julio se promedian 3° C. De acuerdo al modelo definido por (Cabrera A., 1976), la ciudad de Malargüe se encuentra en la Provincia Fitogeográfica Patagónica (Dominio Andino Patagónico). Esta unidad se caracteriza por un clima frío y seco, con intensos vientos provenientes de las masas de aire emitidas por el anticiclón del Pacífico, con precipitaciones invernales de tipo nival (600 a 1000 mm.), siendo la vegetación dominante las estepas arbustivas, de caméfitos y herbáceas, y también las estepas halófilas, psamófilas y vegas, las cuales se desarrollan sobre suelos basálticos, arenosos, pedregosos y pobres en materia orgánica (Cabrera A., 1976). La comunidad esteparia está principalmente dominada por *Mulinum spinosum*, *Ephedra ochreata*, *Chuquiraga rosulata* y especies de los géneros *Azorella*, *Adesmia*, *Poa*, *Senecio* y *Maihuenia* (Capitanelli R., 1972; Roig V.G., 1972). Durante el período de estudio, la temperatura mínima promedio para la ciudad de Malargüe fue de 2,9 ºC, la temperatura máxima promedio de 18 ºC y la precipitación total de 46,1 mm.

Las actividades económicas tales como la agricultura, ganadería, minería y comercio han tenido un efecto significativo en el ambiente del área de Malargüe (Cortegoso V. et al., 2010). Entre ellas el pastoreo es la principal perturbación antrópica observada en el sur de Mendoza (Abrahan E.M. y Prieto M del R., 2000).

Análisis químicos

Los análisis químicos se realizaron a partir de tres submuestras independientes extraídas de cada bolsa liquénica y comprendieron:

Contenido de Clorofilas y Feofitinas:

La decoloración de los talos debido a la degradación de clorofilas es uno de los primeros signos visibles de daño liquénico producido como consecuencia de la acción fitotóxica de los polutantes (Puckett K.J. et al., 1973; Showman R.E., 1975; Eversman S., 1978). En trabajos previos el contenido de estos pigmentos fotosintéticos y la degradación de los mismos han demostrado ser los parámetros biomarcadores más sensibles a los polutantes atmosféricos reportados para *P. austrosinense* (Cañas M.S. y Pignata M.L., 1998; Ocampo A.I. et al., 2013).

La cuantificación de clorofilas (Clor. *a*, Clor. Total) y feofitinas (Feof. *a*, Feof. Total) se realizó según Cañas M.S. y Pignata M.L. (1998). Además, a los fines de estimar la degradación de clorofilas, se calculó el índice de feofitinización Feof. *a*/Clor. *a*. (González C.M. y Pignata M.L., 1994).

Proteínas Solubles:

El contenido de proteínas solubles ha sido utilizado como parámetro para evaluar el grado de estrés producido por polutantes atmosféricos tanto en plantas superiores (Neumann D. et al., 1994; Cañas M.S. et al., 1997) como en líquenes (González C.M. et al., 1996; Shukla V. y Upreti D.K., 2007).

Para la cuantificación de proteínas solubles, 100 mg de material liquénicos fueron sujetos a extracción con 5 mL de buffer fosfato de sodio 0,1 M pH 7,0 mediante un homogeneizador y dejadas en reposo durante 60 minutos. La determinación se realizó de acuerdo a Kalkar H.M. (1947). Para ello, los extractos fueron filtrados y diluidos convenientemente a fin de registrar su absorbancia a 260 y 280 nm. con un

espectrofotómetro Labomed UV-2502. Sobre la base de peso seco se calculó la concentración de proteínas solubles la cual se expresó en mg/g P.S.
Cuantificación de MDA:
En sistemas biológicos, la presencia de productos de oxidación tales como malondialdehido (MDA) está directamente relacionada con el comienzo de la peroxidación de ácidos grasos insaturados (Mehelman M.A. y Borek C., 1987). Todas las membranas biológicas son sensibles a los procesos oxidativos generados por radicales libres, y entre los contaminantes atmosféricos que pueden iniciar estas reacciones se encuentran el O_3 y SO_2 (Mead J.F., 1987). Se midió la concentración de MDA mediante un método colorimétrico (Heath R.L. y Packer L., 1968) de acuerdo a González C.M. y Pignata M.L. (1994) y se expresó en µmol/g P.S.

Análisis de Datos
Los datos obtenidos para cada parámetro cuantificado se analizaron mediante ANOVA, a los fines de comparar las muestras trasplantadas con la condición basal. Así mismo, se compararon los datos obtenidos en cada uno de los sitios de trasplante en la ciudad de Malargüe durante el periodo de exposición. Cuando las diferencias fueron significativas a un p-valor = 0,05, se realizó Test de Tukey. Los supuestos del modelo que subyace al ANOVA fueron previamente chequeados mediante pruebas de Normalidad con el test de Shapiro-Wilk y Homogeneidad de la Varianza con la prueba de Levene.
Los datos se analizaron, además, de manera multivariada. A modo exploratorio, para clasificar los sitios de trasplante en la ciudad de Malargüe se realizó un análisis de Conglomerados Jerárquicos o Análisis de Cluster, usando Método de Ward como algoritmo de aglomeración y Distancia Euclídea al Cuadrado como medida de disimilaridad. Así mismo, y a fin de reducir la información presente en las variables originales y determinar cuáles son las más explicativas de la variabilidad de los datos, se realizó Análisis de Componentes Principales.

RESULTADOS

En la Tabla I se presentan los resultados obtenidos de los parámetros cuantificados en *P. austrosinense*. Como puede observarse para el ANOVA 1, el contenido de pigmentos fue superior en la muestra basal (B) respecto del control (C), a la vez que el contenido de éste fue mayor al de las muestras trasplantadas a Malargüe (valor promedio, M). En estas últimas, el índice de feofitinización, el contenido de proteínas y el de MDA fueron significativamente mayores respecto de las demás condiciones.
La comparación entre sitios de trasplante urbanos (ver Tabla I, ANOVA 2) sólo mostró diferencias significativas para dos parámetros, clorofila *a* y MDA. El contenido de clorofila *a* fue mayor en los talos trasplantados al sitio 2 (Planetario) respecto de aquéllos trasplantados al sitio 4 (Relleno Sanitario Municipal). El contenido de MDA en este último sitio fue menor al de las muestras trasplantadas a los sitios 1 (Planta Transmisora de Radio) y 3 (Estación de Piscicultura).
No obstante, al comparar los datos obtenidos en los distintos sitios de Malargüe con los de la muestra control (Ver Tabla I, ANOVA 3), se observaron, en general, contenidos significativamente bajos tanto de clorofilas como de feofitinas en los talos trasplantados al sitio 4. El índice de feofitinización fue significativamente mayor en muestras expuestas en el sitio 3 respecto de la muestra control; mientras que el contenido de

proteínas soluble lo fue en las muestras de los sitios 3 y 4. El contenido de MDA fue significativamente más elevado en los talos trasplantados a los sitios 3 y 1 respecto de aquéllos trasplantados al sitio 4 y a la muestra control.

En la clasificación de los sitios mediante Análisis de Cluster se obtuvo un dendrograma con dos cluster principales, I y II (Ver Fig. 2). El cluster I contiene de 4 sitios de muestreo, correspondientes a las estaciones: Relleno Sanitario Municipal, Reloj de Malargüe (pleno centro de la ciudad de Malargüe), Planta de Gas de la Empresa Eco Gas y la Estación de Piscicultura (criadero de truchas). El cluster II a su vez se divide en dos subcluster: el subcluster IIa, que incluye los sitios correspondientes al Planetario y el Aeropuerto de la ciudad de Malargüe; y el subcluster IIb, que está conformado por un sólo sitio correspondiente la Planta Transmisora de Radio.

Tabla I. Valores de Media ± D.S. para los parámetros cuantificados en *P. austrosinense* en el nivel basal (B), trasplantada al sitio de recolección (C) y a Malargüe (M). Se presentan los resultados de ANOVA y Test de Tukey (a un p-valor <0,05) para las siguientes comparaciones: (1) Basal - Control – Malargüe, grados de libertad (g.l.) = 2; (2) Entre sitios de Malargüe, g.l. = 6; (3) Entre Control y sitios de Malargüe, g.l. = 7. * $p < 0,05$; ** $p < 0,01$; *** $p < 0,001$.

Sitios	Clor. *a* (mg/g P.S.)	Clor. Total (mg/g P.S.)	Feof. *a* (mg/g P.S.)	Feof. Total (mg/g P.S.)	Feof. *a*/Clor. *a*	Proteínas (mg/g P.S.)	MDA (µmol/g P.S.)
B	0,40 ± 0,05	0,54 ± 0,06	0,40 ± 0,04	0,51 ± 0,05	1,00 ± 0,03	713 ± 66	0,130 ± 0,007
C	0,31 ± 0,04	0,46 ± 0,05	0,31 ± 0,03	0,42 ± 0,05	1,00 ± 0,06	714 ± 80	0,134 ± 0,006
1	0,25 ± 0,02	0,36 ± 0,04	0,27 ± 0,02	0,35 ± 0,03	1,11 ± 0,08	752 ± 58	0,16 ± 0,01
2	0,28 ± 0,02	0,38 ± 0,02	0,29 ± 0,02	0,40 ± 0,03	1,04 ± 0,04	811 ± 88	0,147 ± 0,009
3	0,22 ± 0,08	0,4 ± 0,1	0,3 ± 0,1	0,4 ± 0,2	1,2 ± 0,1	893 ± 10	0,161 ± 0,009
4	0,21 ± 0,03	0,32 ± 0,06	0,23 ± 0,03	0,29 ± 0,05	1,09 ± 0,06	868 ± 96	0,138 ± 0,006
5	0,22 ± 0,02	0,35 ± 0,03	0,24 ± 0,02	0,32 ± 0,03	1,09 ± 0,06	866 ± 38	0,146 ± 0,008
6	0,22 ± 0,02	0,32 ± 0,04	0,24 ± 0,02	0,31 ± 0,03	1,09 ± 0,06	820 ± 29	0,153 ± 0,006
7	0,27 ± 0,03	0,40 ± 0,04	0,28 ± 0,02	0,36 ± 0,03	1,05 ± 0,07	860 ± 50	0,15 ± 0,01
M	0,24 ± 0,03	0,35 ± 0,03	0,26 ± 0,02	0,34 ± 0,04	1,09 ± 0,04	839 ± 48	0,151 ± 0,008
ANOVA							
(1)	***	***	***	***	***	***	***
(2)	*	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	*
(3)	***	***	*	*	*	*	**
Test de Tukey							
(1)	B > C > M	B > C > M	B > C > M	B > C > M	M > C, B	M > C, B	M > C, B
(2)	2 > 4	---	---	---	---	---	1,3 > 4
(3)	C >1,3,5,6,4	C > 1,3,5,6,4	C > 4	C > 4	3 > C	3, 4 > C	3, 1 > 4, C

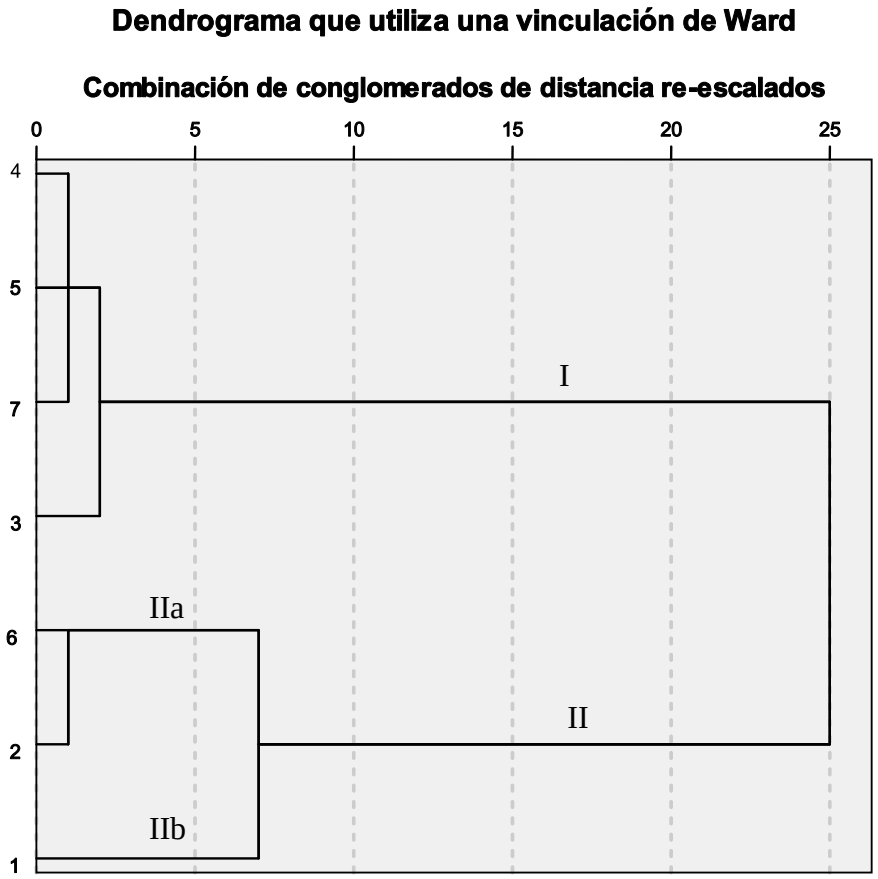


Figura 2. Clasificación de los sitios de exposición mediante Análisis de Cluster.

En la Tabla II se presentan los resultados del Análisis de Componentes Principales. Considerando sólo los autovalores mayores que uno, se tomaron dos (2) componentes, las cuales acumularon el 82,9 % de la varianza total de los datos. En la primera componente, las variables que presentaron autovalores elevados fueron clorofila *a*, clorofila total, feofitina *a* y feofitina total; mientras que en la segunda componente, las variables de peso fueron el índice de feofitinización y MDA.

Tabla II. Autovalores obtenidos del Análisis de Componente Principal para las 7 variables cuantificadas en *P. austrosinense* trasplantada a Malargüe, Mendoza.

	Componente	
	1	2
Clor. a (mg/g P.S.)	0,978	-0,204
Clor. Total (mg/g P.S.)	0,942	-0,022
Feof. a (mg/g P.S.)	0,989	0,096
Feof. Total (mg/g P.S.)	0,946	0,167
Feof. a/Clor. a	-0,477	0,840
MDA (µmol/g P.S.)	0,389	0,882
Proteinas (mg/g PS)	-0,375	-0,070
% Varianza	60,530	22,376
Autovalor	4,237	1,566

DISCUSIÓN

En este estudio, los parámetros de respuesta cuantificados en el biomonitor mostraron diferencias significativas entre las distintas condiciones a las que estuvieron sujetos los talos, las cuales supondrían diferentes niveles de estrés liquénico. Así, el menor contenido de clorofilas y feofitinas observado en la muestra basal respecto del control estaría indicando en *P. austrosinense* el efecto producido por la técnica de trasplante propiamente dicha. La diferencia aun mayor de la concentración de pigmentos en los talos trasplantados a Malargüe, sumado a un valor significativamente elevado en los mismos del índice de feofitinización y de los contenidos de proteínas y MDA respecto de las demás condiciones, estarían indicando cierto grado de estrés en los líquenes debido a las diferencias ambientales existentes entre Malargüe y el área donde crece naturalmente la especie. Fitogeográficamente, esta área corresponde a la Provincia Chaqueña, Distrito del Chaco Serrano (Cabrera A., 1976) y está emplazada en las Sierras de Ambato correspondientes al sistema de Sierras Pampeanas.

De las estaciones de monitoreo seleccionadas en este estudio para la ciudad de Malargüe, el sitio 4 correspondiente al Relleno Sanitario Municipal fue el que presentó mayores diferencias respecto del sitio control para el contenido de pigmentos fotosintéticos cuantificado en *P. austrosinense*. Dado que en esta especie se ha observado una diminución del contenido de clorofilas y feofitinas atribuible al efecto producido por polutantes atmosféricos (Cañas M.S., 2001), estos resultados estarían indicando una menor calidad de aire en este sitio respecto del resto. Los Rellenos Sanitarios pueden ser fuente de numerosas sustancias tóxicas que son liberadas al aire y al suelo, y los líquenes han mostrado ser buenos bioindicadores de polución de este origen (Mazzeo R. et al., 2013). Esto explicaría las mayores concentraciones de proteínas solubles observadas en líquenes expuestos al sitio 4, ya que otros autores han reportado un aumento del contenido de proteínas en líquenes expuestos a sitios polutos (Gonzalez C.M. et al., 2006; Shukla V. y Upreti D.K., 2007). En plantas superiores (Neumann D. et al., 1994) detectaron mecanismos de tolerancia desarrollados en ciertas especies para resistir la polución del aire, los cuales incluyeron síntesis de metabolitos relacionados al estrés y/o proteínas.

El sitio 3 correspondiente a la Estación de Piscicultura mostró cierto grado de afectación de la calidad del aire, inferida a partir del índice de feofitinización, del contenido de proteínas y de MDA, parámetros que en valores elevados son marcadores de estrés por polución en líquenes (González C.M. et al., 1994; Shukla V. y Upreti D.K., 2007)

En la clasificación de los sitios mediante Análisis de Conglomerados Jerárquicos se separaron los sitios de muestreo en dos grandes grupos: el cluster I, agrupó los sitios en los cuales los líquenes mostraron mayores signos de stress atribuible a la calidad ambiental. Se presume que son varios factores particulares los que habrían influido en el deterioro de los líquenes en estos sitios. En el sitio 5 (Reloj de Malargüe) el factor de deterioro principal estaría relacionado con el tránsito vehicular, uno de las principales fuentes de polución atmosférica en áreas urbanas (González C.M. et al., 1996; Carreras H.A. y Pignata M.L., 2001; Ocampo A.I. et al., 2011). En el Sitio 4 (Relleno Sanitario Municipal) el factor influyente seguramente está relacionado con la producción de emisiones gaseosas y particuladas (Kotovicová J. et al., 2011). La inclusión de la Planta de Gas en este grupo podría también explicarse por la presencia de gases orgánicos tóxicos en el aire circundante; mientras que en el caso de la Estación de Piscicultura, los factores que condicionarían la respuesta química del biomonitor en este sitio no están al

momento determinados. El cluster II agrupó los sitios con menores signos de stress ambiental en el biomonitor: Planetario, Aeropuerto y Planta Transmisora de Radio.
El Análisis de Componentes Principales aplicado sobre la matriz de datos obtenidos en *P. austrosinense* trasplantada a Malargüe, permitió determinar que, a excepción de proteínas, las variables consideradas en el estudio fueron explicativas en un grado importante. La primera de las componentes está especialmente relacionada con los pigmentos fotosintéticos. Dado que el autovalor de esta componente es muy alto en comparación con el resto, podría inferirse que estos parámetros son los que mejor explican la variabilidad de los datos en este estudio. La segunda componente, se relaciona con marcadores de estrés oxidativo en líquenes, tales como el índice de feofitinización y MDA.

CONCLUSIONES

El presente estudio detectó una cierta homogeneidad de la calidad del aire entre los sitios monitoreados en Malargüe. No obstante, las diferencias observadas en líquenes trasplantados a algunos sitios respecto de la muestra control indicarían condiciones ambientales particulares en algunos de ellos. En este sentido, el Relleno Sanitario Municipal y la Estación de Piscicultura serían los sitios con condiciones ambientales más desfavorables para el liquen; y en menor medida lo serían también el sitio del Reloj y la Planta de Gas. En el Planetario, por el contrario, la calidad del aire inferida a partir del biomonitor sería mayor, como así también en los sitios correspondientes a la Planta Transmisora de Radio y el Aeropuerto de la ciudad de Malargüe.
Los variables químico-fisiológicas analizadas en este estudio resultaron adecuadas para interpretar la respuesta de *P. austrosinense* empleada como bioindicadora; particularmente, los pigmentos fotosintéticos y MDA serían los parámetros de elección para realizar trabajos de monitoreo con esta especie en la ciudad de Malargüe.
Se infiere que, con controles metodológicos adecuados como los realizados en este estudio, el monitoreo activo mediante el liquen *P. austrosinense* resulta una alternativa válida para el estudio de calidad de aire en Malargüe y en áreas con características ambientales similares.

REFERENCIAS

Abrahan E. M. y Prieto M. del R., 2000. Viticulture and desertification in Mendoza, Argentine. Stuttgart, Zentralblatt für Geologie und Paläontologie, T. I, H. 7/8, pp. 1063-1078.

Basile A., Sorbo S., Aprile G., Conte B. and Castaldo Cobianchi R., 2008. Comparison of the heavy metal bioaccumulation capacity of an epiphytic moss and an epiphytic lichen, *Environmental Pollution*, **151**, 401-407.

Bergamaschi L., Rizzio E., Giaveri G., Loppi S., and Gallorini M., 2007. Comparison between the accumulation capacity of four lichen species transplanted to an urban site, *Environmental Pollution*, **148 (2),** 468-476.

Butzer K., 1989. *Arqueología - Una Ecología del Hombre: Método y Teoría para un Enfoque Contextual*. Ediciones Bellaterra, Barcelona.

Cabrera A., 1976. Regiones Fitogeografías Argentinas. Enciclopedia Argentina de Agricultura y Jardinería. Tomo II, Fasc. I. ACME.

Cañas M.S., Carreras H.A., Orellana L., Pignata M.L., 1997. Correlation between environmental conditions and foliar chemical parameters in *Ligustrum lucidum* Ait. exposed

to urban air pollutants. *Journal of Environmental Management* **49**, 167-181. ISSN 0301-4797.

Cañas M. S. & Pignata M. L., 1998. Temporal variation of pigments and peroxidation products in the lichen Parmotrema uruguense (Kremplh.) Hale transplanted to urban and non-polluted environments, *Symbiosis*, **24**, 147-162.

Cañas M.S., 2001. Respuesta química de tres especies líquénicas a contaminación atmosférica. Selección de parámetros para bioindicación. Tesis de doctoral. Universidad Nacional de Cordoba. 150 pag.

Cañas M.S. & Pignata M.L., 2003. Efecto de contaminantes atmosféricos urbano-industriales sobre el liquen *Parmotrema austrosinense* (Zahlbr.) Hale, *Ciencia*, **1(1)**, 87-100.

Capitanelli R., 1972. Geomorfología y clima de la provincia de Mendoza. En: Geología, geomorfología, climatología, fitogeografía y zoogeografía de la provincia de Mendoza. Suplemento vol. XIII, Bol. Soc. Arg. de Botánica, Mendoza, Argentina.

Carreras H.A. and Pignata M.L., 2001. Comparison among air pollutants, meteorological conditions and some chemical parameters in the transplanted lichen *Usnea amblyoclada*, *Environmental pollution*, **111**, 45-52.

Conti M.E. and Cecchetti G., 2001. Biological monitoring: lichens as bioindicators of air pollution assessment – a review, *Environmental Pollution*, **114**, 471-492.

Cortegoso V., Durán V., Pelagatti O. y Lucero G., 2010. La cría y tráfico de ganado mayor como factores de cambio ambiental en la cordillera central y piedemonte oriental de Mendoza (siglos XVII a XX). En Zárate, M., A. Gil y G. Neme (eds.); *Una aproximación arqueo-lógica e histórica. Condiciones paleoambientales y ocupacioneshumanas durante la transición Pleistoceno-Holoceno y Holoceno de Mendoza*: 277-308. Buenos Aires, Sociedad Argentina de Antropología.

Eversman S., 1978. Effects of low-level SO_2 on *Usnea hirta* and *Parmelia chlorochroa*. *Bryologist* **81**: 368-377.

Fuga A., Saiki M., Marcelli M.P. and Saldiva P.H.N., 2008. Atmospheric pollutants monitoring by analysis of epiphytic lichens, *Environmental Pollution*, **151**, 334-340.

González C.M., Casanovas S.S. & Pignata, M.L., 1996. Biomonitoring of air pollutants from traffic and industries employing *Ramalina ecklonii* (Spreng.) Mey. and Flot. in Córdoba, Argentina. *Environmental Pollution* **91(3),** 269-277.

González C.M. & Pignata M.L., 1994. The influence of air pollution on soluble proteins, chlorophyll degradation, MDA, sulphur and heavy metals in a transplanted lichen, *Chemistry and Ecology*, **9,** 105-113.

Guevara S., Oyarzún J. y Maturana H., 2006. Geoquímica de las aguas del Río Elqui y de sus tributarios en el periodo 1975-1995: Factores naturales y efecto de las explotaciones mineras en sus contenidos de Fe, Cu y As. Agricultura Técnica (Chile) 66 (1): 57-69.

Heath R. L. y Packer L., 1968. Photoperoxidation in isolated chloroplast. I. Kinetics and stoichiometry of fatty acids peroxidation, *Archives of Biochemistry and Biophysics*, **125**, 189-198.

Kalckar H.M., 1945. Differencial spectophotometry of purine compounds by means of specific enzymes. III. Studies of the enzymes of purine metabolism. *Journal of Biological Chemistry*, 167, 461-9.Koz B., Celik N. and Cevik U., 2010. Biomonitoring of heavy metals by epiphytic lichen species in Black Sea region of Turkey, *Ecological Indicators*, **10**, 762–765.

Mazzeo R., Nannoni F., Protano G., Manti A. and Santolini R., 2013. Integrated approach for the analysis of ecosystems at risk: A case study in a waste landfill. *Environmental Engineering and Management Journal*. Vol.12, No. S11, Supplement, 165-168.

Mead J. F., 1987. Free radical mechanism of lipid damage and consequences for cellular membrane. En: *Free Radicals in Biology*. W.A. Pryor, ed., London, Academic Press, pág. 76-122.

Mehelman M. A. y Borek C., 1987. Toxicity and biochemical mechanisms of ozone. *Environmental Research*, **42**, 36-53.

Mohaded Aybar C.B., Ocampo A.I., Villegas R.L. and Cañas M.S., 2008. Comparación de la respuesta química de dos especies liquénicas transplantadas a la región minera del oeste de Catamarca, in N.B. del C. Pece, J.E. Goldar and L.J. Galeano (eds.), *Investigaciones en Facultades de Ingeniería del NOA*, Editorial Científica Universitaria ECU-UNCa, S.F.V. de Catamarca.

Mohaded Aybar C.B., Ocampo A.I., Palomeque L.I., Cañas M.S., 2010. Determinación del contenido de azufre y un índice de polución en dos especies liquénicas trasplantadas a la región minera del oeste de Catamarca. En: Zutara, M.S., Martínez, S.L. (eds.): *Investigaciones en Facultades de Ingeniería del NOA*, EUNSa – EdiUNJu, S.F.V. de Catamarca, 201-205.

Neumann D., Lichtenberger O., Günther D., Tschiersch K. and Nover L., 1994. Heat-shock proteins induce heavy metal tolerance in plants. Planta **194**, 360-367.

Ocampo A.I., Jasan R.C., Mohaded Aybar C.B., Moyano G.R., Córdoba S.K., Plá R.R., Cañas M.S., 2011. Relación entre el nivel de tránsito vehicular y el contenido de elementos traza en líquenes trasplantados al área central de la ciudad de San Fernando del Valle de Catamarca. En: *Investigaciones en Facultades de Ingeniería del NOA*. Editorial Científica Universitaria. Tomo 1, Pág. 557-564. ISSN: 1853-7871.

Ocampo A.I., Mohaded Aybar C.B., Moyano R.G., Álvarez V.A., Acosta W.D. y Cañas M.S., 2013. *Parmotrema austrosinense* (Ascomycota liquenizado) como bioindicador sensitivo en el área central de San Fernando del Valle de Catamarca, Producción Científica de la Facultad de Tecnología y Ciencias Aplicadas-IV. Editorial Científica Universitaria-UNCa. Pág. 79-85.

Palomeque L.I., 2008. Evaluación de la calidad del aire en el centro-oeste catamarqueño (Belén) mediante el empleo de líquenes como biomonitores. Tesis de Maestría en Conservación y Gestión Ambiental. Universidad Nacional de Catamarca.

Puckett K.J., Nieboer E., Flora W.P. & Richardson D.H.S., 1973. Sulphur dioxide: its effect on phytotoxicity. *New Phytologist* **72**: 141-154.

Rabe R. and Kreeb K.H., 1979. Enzyme activities and chlorophyll and protein content in plants as indicators of air pollution, *Environmental Pollution*, **1**, 45-56.

Roig F. A., González Loyarte M. M., Abrahan E. M., Méndez E., Roig V. G. and Martinez Carretero E., 1991. Maps of desertification Hazards of Central Western Argentina, (Mendoza Province). Study case. En: UNEP, (Ed.) World Atlas of thematic Indicators of Desertification, E. Arnold, Londres.

Roig V. G., 1972. Esbozo general del poblamiento animal en la provincia de Mendoza y notas sobre su distribución geográfica. Bol. Soc. Arg. de Botánica, 13 (supl.): 81 – 88.

Showman R.E., 1975. Lichens as indicators of air quality around a coal-fired power generating plant. *Bryologist* **78**, 1-6.

Shugart L.R., 1996. Molecular markers to toxic agents, in M.C. Newman and C.H. Jagoe (eds), *Ecotoxicology: A Hierarchical Treatment*, CRC-Lewis Publishers, New York.

Shukla V. y Upreti D.K., 2007. Physiological response of the lichen *Phaeophyscia hispidula* (Ach.) Essl., to the urban environment of Pauri and Srinagar (Garhwal), Himalayas, India. *Environmental Pollution* **150**, 295-299.

Este trabajo participa en el "Concurso Jóvenes Investigadores".

APLICACIÓN DE RUIDO MAGNÉTICO BARKHAUSEN PARA LA EVALUACIÓN DEL GRADO DE DESBASTE DURANTE EL PULIDO METALOGRÁFICO DE UN ACERO 1020 Y DE UNA PLACA DE NÍQUEL 99.9%

Hucailuk C.[a], *Nuñez N.*[a] *y Torres D.*[a]

[a]*ICES ("Centro Internacional de Ciencias de la Tierra"), Comisión Nacional de Energía Atómica,*
Av. Gral. Paz 1499, Buenos Aires, ARGENTINA

e-mail: hucailuk@cnea.gov.ar

RESUMEN

Cuando se aplica un campo magnético externo variable, de baja frecuencia, a un material ferromagnético, se observa una tendencia al reordenamiento de sus dominios magnéticos en la dirección del campo magnético aplicado. Esta reorientación genera una señal que es captada por una bobina colocada en la superficie de la muestra en estudio, como un ruido de alta frecuencia (1 kHz – 1 MHz), conocido como Ruido Magnético Barkhausen (RMB). En este trabajo se presenta el estudio de las señales obtenidas mediante la técnica de RMB, en muestras de Acero 1020 y Níquel 99.9%. Los resultados de las mediciones con esta técnica son empleados para poder identificar las diferentes etapas en un pulido metalográfico. Estas señales son comparadas a fin de diferenciar los acabados superficiales por pulido mecánico de las muestras propuestas.

INTRODUCCIÓN

La técnica de Ruido Magnético Barkhausen (RMB) es un método de ensayo no destructivo donde un campo magnético variable se aplica a una muestra de material ferromagnético. Este tipo de materiales se caracteriza por presentar zonas denominadas "dominios magnéticos", del orden del micrómetro, donde el conjunto de átomos que lo integran presentan una determinada magnetización asociada. Dichos dominios responden con una reorientación según el sentido del campo magnético aplicado. Debido a esta reorientación, el movimiento provocado genera una fuerza electromotriz inducida que es captada por una bobina colectora ubicada sobre la superficie del material de estudio. La señal generada es digitalizada, para poder procesarla y analizarla [1].
Esta técnica permite el análisis superficial de la muestra en estudio para indicar si la microestructura se encuentra involucrada a procesos de deformación que anclan los movimientos de los dominios magnéticos, así como las deformaciones superficiales sujetas a campos de tensiones [2, 3, 4].
En este trabajo se pretende determinar el grado de sensibilidad que posee el RMB para los diferentes grados de deformación [5, 6, 7] que se producen en el pulido de acuerdo con la granulometría del papel utilizado durante el desbaste de una muestra.

METODOLOGÍA DE TRABAJO / PARTE EXPERIMENTAL

Para el presente estudio, se utilizaron dos muestras, de similares dimensiones (10cm x 10cm) pero distinto espesor. Una es de Acero 1020 de 2 cm de espesor, y otra es de Níquel de 99.9 % de pureza de 0.6 cm de espesor.
En ambas muestras, se realizaron pulidos con papel de diferentes granulometrías, comenzando por 320, 400 y 600, a las cuales se le han tomado imágenes a través de un microscopio óptico metalográfico marca Olympus BX60M.
Para estudiar las señales de RMB se trabajó con un equipo de medición de RMB que consta de un generador de funciones, fijado en una frecuencia de 10 Hz y en una amplitud de 0.5 V, un amplificador de potencia, un osciloscopio, una bobina colectora (sensor de Barkhausen) y un yugo o electroimán. Estos parámetros fueron utilizados para el campo magnético externo aplicado.
Sobre la superficie de la muestra, se coloca un yugo inductor de campo magnético, dentro del cual se ubica una bobina colectora. La señal sinusoidal proporcionada por el generador de funciones es aplicada a la bobina del yugo produciendo un campo magnético variable necesario como para excitar los dominios magnéticos presentes en la muestra. La bobina colectora capta la fuerza electromotriz inducida en la superficie de la muestra, correspondientes a la señal de RMB.
A efecto de percibir la distorsión de la señal de RMB por deformaciones de la estructura o defectos cristalinos superficiales, se realizaron mediciones con la técnica de RMB mediante un barrido superficial de 360º a partir de un sistema de referencias arbitrario colocado en la superficie de la muestra cada 45º.
En la Fig. 1 (a) y (b) se presenta el tipo de muestras y la geometría del Acero 1020 y de Níquel empleados.

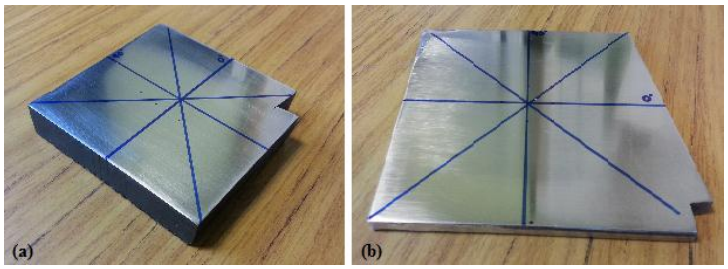


Figura 1. Muestra de: (a) Acero 1020. (b) Níquel.

En la Fig. 2 (a) y (b) se puede observar la estructura cristalina de ambas muestras con un aumento de 20X. En dichas figuras, es posible ver que el Acero 1020 presenta una distribución homogénea de grano equiaxiado mientras que el Níquel, una estructura laminar, marcadamente diferenciadas una de la otra.

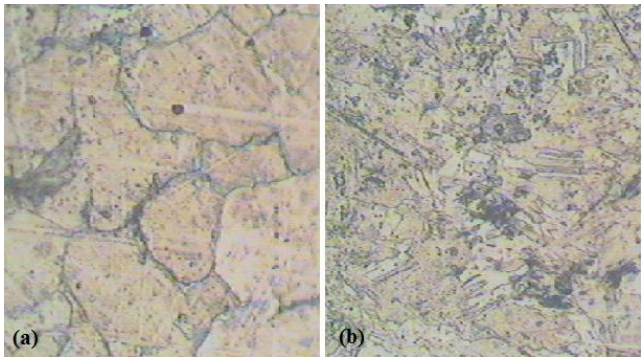


Figura 2. Muestra, con un aumento de 20X, del: (a) Acero 1020. (b) Níquel.

En las Figs. 3 (a)-(c) se muestran las imágenes tomadas en el Níquel con un aumento de 5X a través de un microscopio óptico metalográfico, donde se aprecian las rayas dejadas por el desbaste en cada proceso, con papeles 320, 400 y 600 respectivamente.

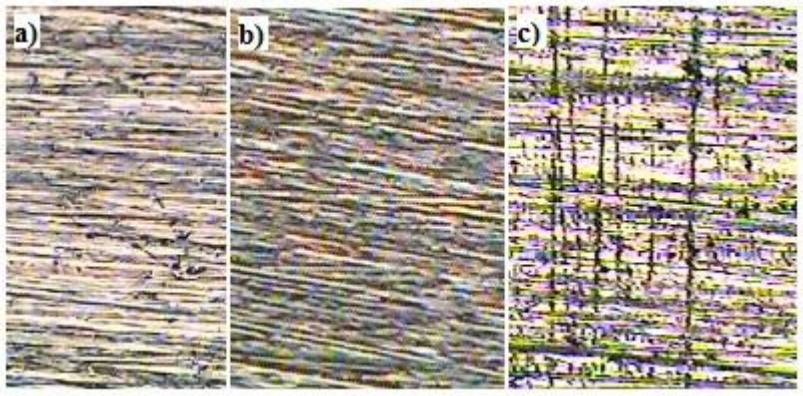


Figura 3. Níquel con pulido de papel: (a) 320 (b) 400 (c) 600

RESULTADOS

En la Fig. 4 se muestran las típicas señales obtenidas por la técnica RMB para cada uno de los pulidos realizados (papel 320, 400 y 600) en el Acero 1020.
Se puede ver en las Figs. 4 (a)-(c) las señales con un ángulo de 0º y en las Figs. 4 (d)-(f), para un ángulo de 90º.

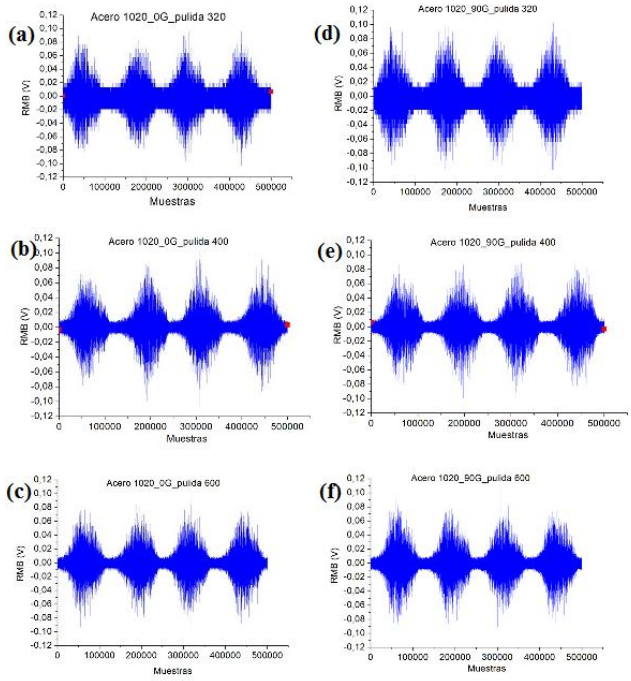


Figura 4. Señales típicas de RMB en Acero 1020. (a) pulido 320 a 0º; (b) pulido 400 a 0º; (c) pulido 600 a 0º;
(d) pulido 320 a 90º; (e) pulido 400 a 90º; (f) pulido 600 a 90º.

En las Figs. 5 se muestra una gráfica en la que se comparan los valores obtenidos para cada ángulo de la señal de RMB relacionando los diferentes acabados superficiales realizados tanto en el Acero 1020 como en el Níquel. En ambas figuras, las señales obtenidas con papeles, que dejan rayas de mayor impronta (ver Tabla 1), presenta una mayor amplitud en la señal de RMB. En el Acero 1020, se observa que la diferencia de amplitudes mucho más significativa, siendo aproximadamente el doble, que en el Níquel. Estas diferencias podrían deberse a la microestructura presentada y propiedades magnéticas diferentes del Acero 1020 y Níquel.

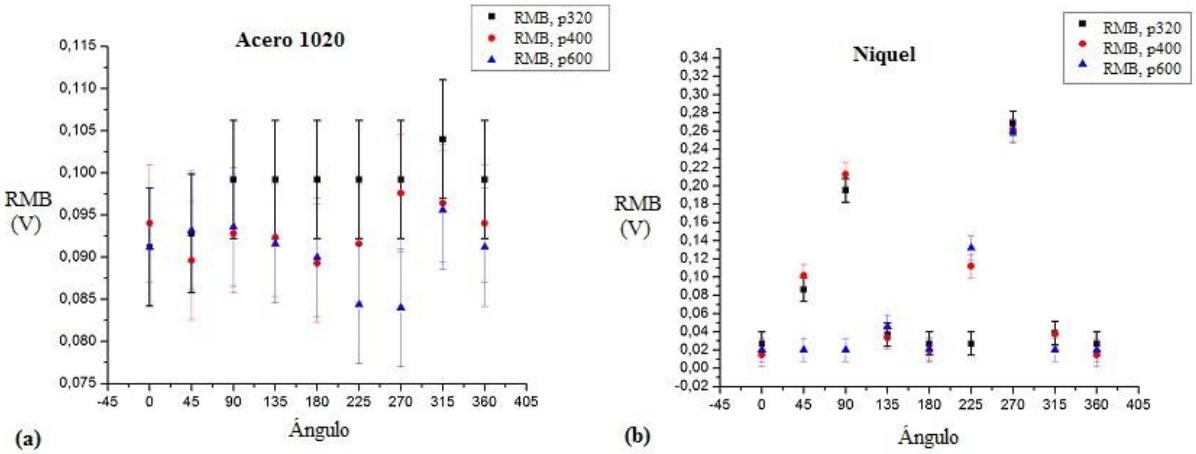


Figura 5. (a) Acero 1020. (b) Níquel.

En Tabla 1, se muestra la tabla de granulometría de papeles y tamaño de rayas.

Tabla 1 – Tabla de comparación de papeles abrasivos.

Micrones	ANSI (CAMI) US
40	320
25	400
15	600

En la Fig. 6, se muestra un diagrama polar para el Acero 1020 con un acabado superficial con papel 320. Se ve que no hay dirección preferencial dada la simetría que presenta el gráfico. La isotropía superficial de esta muestra y la ausencia de defectos cristalinos superficiales no muestra un cambio en la señal obtenida de RMB.

Esto no se pudo observar en la muestra de Níquel.

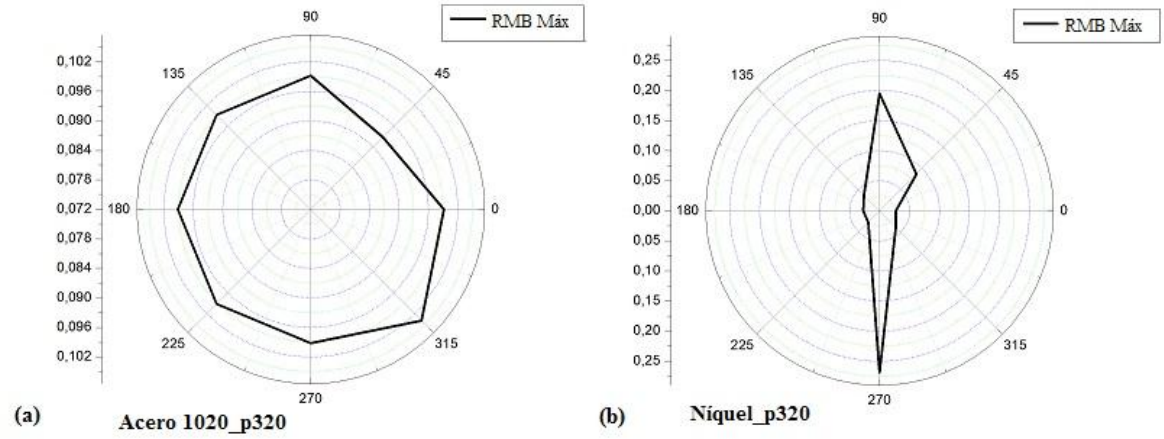


Figura 6. Diagrama polar con pulido 320 (a) Acero 1020. (b) Níquel.

CONCLUSIONES

Debido a la profundidad de los surcos dejados por el pulido en las superficies de las muestras, se pudo apreciar la diferencia entre los valores de las amplitudes en la señal RMB, de acuerdo con los papeles de distinta granulometría empleados.
Se observa un aumento en el máximo valor de la señal de RMB cuanto mayor es el desbaste en la superficie con el papel utilizado.
La comparación de la amplitud máxima de la señal de RMB entre los dos materiales empleados arroja, en general, que la del Acero 1020 es aproximadamente el doble que la del Níquel. Esto se podría asociar con la distinta microestructura observadas en las micrografías presentadas.
Queda de manifiesto la sensibilidad de la técnica empleada, RMB, para diferenciar las deformaciones generadas en la superficie durante el proceso de pulido.

REFERENCIAS

[1] M. Willcox y T. Mysak, *An introduction to Barkhausen Noise and its applications*, Insight NTD Equipment LTD (2004).

[2] V. I. Ortega Paredes, M. R. Neyra Astudillo, N. Núñez, J. E. Ruzzante, M. I. López Pumarega, M. P. Gómez, D. N. Torres, *Análisis de señales de Ruido Barkhausen de muestras de Fe – 1 wt % Cu*, SAM-CONAMET 2011, 11º Congreso Internacional en Ciencia y Tecnología de Metalurgia y Materiales, Rosario, Argentina (2011).

[3] M. I. López Pumarega, D. N. Torres, N. Núñez, M. P. Gómez, M. Armeite, J. E. Ruzzante, *Barkhausen Noise and Magneto Acoustic Emission in Fe-Cu alloy*. 8th International Conference on Barkhausen Noise and Micro-magnetic Testing (ICBM8). Kalpakkam, India (2010).

[4] M. R. Neyra Astudillo, N. Núñez, M. I. López Pumarega, D. N. Torres, J. E. Ruzzante, *Magneto-Acoustic Emission and Barkhausen Noise in A508 Class II Steel*, 30th EWGAE / 7th ICAE at University of Granada. Granada, España (2012).

[5] J. A. Pérez-Benitez, J. Capó-Sánchez, J. Anglada-Rivera, L. R. Padovese, *A study of plastic deformation around a defect using the magnetic Barkhausen noise in ASTM 36 steel*, doi: 10.1016/j.ndteint.2006.12.002 (2006).

[6] T. Garstka, *The influence of product thickness on the measurements by Barkhausen Noise method*, JAMME Volume 27, Issue 1, pp. 47-50, (2008).

[7] M. Alberteris Campos, et. al. *Characterization of the elastic-plastic region in AISI/SAE 1070 steel by the magnetic Barkhausen noise*, NDT&E Int (2008), doi: 10.1016/j.ndteint.2008.03.003 (2008).

ANÁLISIS DE OSCILACIONES DE MUY BAJA FRECUENCIA EN ANOMALÍAS ABSOLUTAS DE LA PRECIPITACIÓN GLOBAL

Huggenberger, Darío A (1), Vargas, Walter M. (2)

(1) Facultad Regional "Delta". Universidad Tecnológica Nacional.
(2) Departamento de Ciencias de la Atmósfera. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. Universidad de Buenos Aires.

e-mail: dhuggenberger@frd.utn.edu.ar

RESUMEN

Se aplica una red neuronal consistente en un mapa auto organizado de Kohonen de cinco capas esféricas entrenado por recirculación para organizar, caracterizar y regionalizar patrones de variabilidad en muy baja frecuencia de anomalías absolutas en la precipitación global durante la segunda mitad del siglo XX sobre la base de reanálisis y una selección de armónicos de Fourier. Los máximos de anomalía en latitudes medias se habrían desplazado a latitudes más altas, por otra parte se habrían trasladado desde el cono sur de Sudamérica a la vez que desde el Caribe hacia el Amazonas, y del norte al sur de África. En promedio meridional los máximos ecuatoriales se habrían trasladado del norte al sur de la línea ecuatorial. Las anomalías en el Pacífico central y África ecuatorial podrían estar acopladas.

Palabras clave: Variabilidad climática, precipitación, redes neuronales, mapas auto organizados.

INTRODUCCIÓN

El problema de la variabilidad en el comportamiento de la atmósfera es una de las cuestiones principales de la climatología. En el trabajo se ensaya el uso de redes neuronales como filtro de ruido y en términos de aislar y organizar síntesis de información. En el presente estudio se procura analizar el carácter y comportamiento de posibles procesos periódicos o casi periódicos de muy baja frecuencia en precipitación global.

Al aplicar técnicas de descomposición armónica en series de precipitación en Sudamérica en la tesis de licenciatura, aunque no fue presentado en aquella oportunidad (Huggenberger, 1994), se observó la presencia de ciclos de poco más de dos años, otro algo mayor de tres años y medio, un tercero de casi cinco años, otro de unos seis años, otro período en el orden de nueve años y uno que se encontraba entre diecisiete y dieciocho años. Esto fue estudiado luego en series de caudales (Vargas-Huggenberger, 2000) utilizando como filtro natural de alta frecuencia la respuesta hidrológica a la precipitación, aunque este enfoque presenta el problema de la representatividad espacial en relación con las cuencas. Un análisis preliminar exploratorio de series reanalizadas de precipitación global mostró también la presencia de los mencionados ciclos en las mismas regiones. De allí que se asume que estas series de precipitación, obtenidas a

partir de reanálisis, a pesar de la fuerte dependencia del modelo que presenta esta variable, contienen los aspectos esenciales de la variabilidad que se pretende estudiar. Conclusiones del WCC3 avalan esta asunción (Murphy, 2009). Es clara la ventaja que tiene el reanálisis en puntos de grilla desde la perspectiva de la cobertura global uniforme y la no existencia de datos faltantes. Por otra parte, se considera que el reanálisis filtra, a partir de las ecuaciones básicas que son modeladas, efectos locales como tormentas intensas que también afectan la representatividad regional de series pluviométricas (Hoffmann, 1970).

Períodos en largas escalas de tiempo fueron detectados por varios investigadores. Unal et al. (1995), aplicando técnicas de análisis espectral singular multicanal, hallan oscilaciones de baja frecuencia. Sobre el Atlántico oriental se observa un período de 11.6 años que se propaga hacia el sur desde 70ºN hasta 40ºN en 4 años con un máximo de amplitud en 50ºN. En el Atlántico occidental, entre 10ºN y 50ºN hallan un ciclo regular de 12.8 años con señales que convergen en 30ºS, donde se observa un máximo de amplitud registrándose oposición de fase en 10ºS, y otro periodo menos definido entre 10 y 11 años. Una oscilación en la escala de 13 años se detecta en el Atlántico (Chang, 1997) posiblemente vinculada en un proceso de realimentación positiva entre el océano y la atmósfera.

Es claro que existe un rol de la circulación oceánica en la variabilidad interanual pero no es simple explicar los mecanismos físicos involucrados. Una metodología de aplicación reciente es el análisis de las componentes oscilatorias en perturbaciones sobre el estado básico descriptas por modelos dinámicos (Dijkstra, 2005). Schmittner (2000) presenta un posible vínculo entre los eventos ENSO y la intensidad de la circulación termohalina que resulta incrementada en condiciones de Niño. Si bien el trabajo se orienta a la evaluación de potenciales alteraciones ante un cambio climático, merece atención el posible vínculo entre una anomalía de salinidad a comienzos de la década de 1970 con las alteraciones globales observadas en torno a 1973 (Marshall, 2001). Otros investigadores analizan el comportamiento de un evento similar al Niño en el Atlántico (Ruiz-Barradas, 1999). Un gran esfuerzo se desarrolla en términos de conocer las vinculaciones entre la variabilidad en el Atlántico tropical e índices como la Oscilación del Atlántico Norte (NAO) y la circulación meridional atlántica profunda (Meridional Overturning Circulation MOC) (Hurrell, 2006).

Con el objeto de organizar la estructura de la variabilidad en muy baja frecuencia, en escala casi secular, se recurrió a la organización de un patrón de señales por medio de mapas auto organizados de redes neuronales (Kohonen, 2001). Un mapa auto organizado de Kohonen se orienta al objetivo de modelar el funcionamiento de la corteza del cerebro. La red de Kohonen simula el proceso de especialización a partir de un estado neutro de una red neuronal presentando ejemplos a la red y configurando patrones de pesos sinápticos progresivamente adaptados a los ejemplos presentados.

En general las aplicaciones de redes neuronales basadas en mapas auto organizados de Kohonen se centran en el objetivo de clasificación (Turiasa et al. 2006) (Björn and Amos 1999) (Hall et al., 2002) (Steynor et al. 2006) (Fayos, 2007) (Kilpatrick, 1995) (Michaelides, 1998) (Cogliati et al., 2006). En esta aplicación se utiliza el mapa de red para organizar una señal conformada por la composición de los primeros cinco armónicos de Fourier de anomalías absolutas en la precipitación total mensual obtenida de reanálisis en puntos de grilla.

En una primera parte del trabajo se describe sucintamente la metodología y fuente de datos. En una segunda parte se sintetiza los resultados. La tercera parte contiene una discusión y conclusiones generales.

DATOS Y METODOLOGÍA

La información de base consiste en 53 años de reanálisis (636 valores mensuales entre 1948 y 2000 obtenidos de la variable "prate" de la dirección http://cola8.iges.org:9090/dods/rean_2d.info). Se utiliza un conjunto de 18142 patrones de entradas en forma de series temporales de anomalías mensuales en la lluvia, obtenida por extracción de la onda anual media, reconstruidas las anomalías por medio de los primeros cinco armónicos de Fourier, 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 anomalías en la lluvia acumulada mensualmente en cada punto de grilla. Es sabido que la precipitación es una de las variables menos confiablemente calculada y pronosticada, pero, como se mencionó en la introducción, el reanálisis de precipitación contiene considerable información acerca del patrón de lluvias cubriendo regularmente el Globo.

En el marco del trabajo que aquí se desarrolla se entenderá por "sensación" el patrón de actividad de un conjunto de neuronas estimuladas por un factor externo, la "percepción" consistirá en el patrón de actividad de neuronas internas en respuesta a la sensación. La "abstracción", en cambio, se relaciona con la actividad residente en las neuronas internas en ausencia de sensación y percepción, lo que permite reconstruir una imagen representativa de las sensaciones. Las relaciones de vecindad entre patrones caracterizados por la red o abstracciones se proyectan sobre la base de datos como vínculos entre los grupos establecidos.

Para evitar efectos de borde se utilizará una red bidimensional de neuronas equidistantes en términos angulares en la superficie de una esfera. Las ubicaciones de las neuronas en la superficie de la red se definen por medio de vectores de módulo unitario a través de las coordenadas angulares cenital y azimut.

Se aplica un procedimiento de recirculación al entrenamiento de la red (Hinton, 1988). Este procedimiento, que fue descripto en más detalle en Vargas-Huggenberger (2009), consiste en interconectar las neuronas visibles por medio de pesos sinápticos dirigidos hacia las neuronas ocultas. Cada una de las neuronas ocultas sintetiza la información recibida o estímulo sobre las neuronas visibles a modo de sensación integrada en un único parámetro. Un patrón de pesos sinápticos inversos, es decir de las neuronas ocultas dirigidos a las visibles, devuelve un conjunto de imágenes a modo de percepciones o respuestas primarias a la sensación original generadas a partir del parámetro escalar sensación y de los pesos sinápticos de las neuronas. Entre todas las respuestas o percepciones primarias, se selecciona aquella con máxima similitud al patrón original de estímulos. Los mismos pesos sinápticos directos generan una nueva síntesis interna escalar como reflexión de la percepción primaria seleccionada sobre la neurona interna que la generó. El procedimiento de recirculación consiste en modificar los pesos directos e inversos de manera tal que los parámetros que definen la imagen interna de la sensación directa y de la percepción reflejada converjan a un mismo valor, a la vez que la percepción primaria se aproxime progresivamente al patrón presentado

por el estímulo externo. En la medida que el proceso de iteración evoluciona, la percepción primaria se estabiliza constituyéndose en percepción definitiva, o simplemente percepción, y el patrón de pesos sinápticos configura una abstracción estable a la que se puede recurrir en dos sentidos: como patrón de referencia para futuras percepciones y como estímulo para entrenar capas internas de la red evocando en ausencia el patrón original que configuró el estímulo. En el método original de Hinton la red interna es de menor dimensión que la externa. Al utilizar una única neurona como síntesis interna, se pierde el beneficio de la distribución de memoria llevando en cambio la compresión al límite y posibilitando que el patrón de pesos sinápticos almacenados en esa única neurona pueda ser interpretado como una síntesis de los ejemplos presentados a la red.

En términos numéricos, un conjunto de estímulos provienen de un ambiente en el que está inmersa la red. Esos estímulos se expresan por medio de un vector (**X0**). Los pesos directos (**Wd**) conducen el estímulo desde la neurona visible o elemento sensible, que en la red es el conjunto de datos originales, hacia la neurona interna. En ella la sensación se obtiene como producto escalar (Y1=**Wd.X0**) entre la señal y los pesos directos. A partir de los pesos inversos (**Wi**), dirigidos desde la misma neurona hacia la capa visible, se elabora la percepción (**X2** = Y1**Wi**) como producto por escalar. Como si esta respuesta primaria formase parte del ambiente, a partir de un producto escalar con los mismos pesos sinápticos directos configura una segunda respuesta interna de la red (Y3=**Wd.X2**) que debe asimilarse a la sensación primaria (Y1) en la medida que la percepción primaria (**X2**) converge hacia el estímulo (**X0**). De este modo la percepción (**X2**) se elabora progresivamente como una respuesta de la red al estímulo (**X0**), que a la vez es análogo al patrón de pesos inversos (**Wi**) o abstracción. Por lo tanto los patrones inversos contienen una representación abstracta de la señal de origen, donde el término "abstracción" se utiliza en el sentido de no representar una señal en especial sino los aspectos típicos, generales y relevantes para su reconocimiento, que además persisten como una característica adquirida de la red al entrenamiento.

Al finalizar el entrenamiento de la red y aplicando la misma definición de distancia entre los patrones individuales de información o estímulos y las percepciones, se identifica entre las respuestas perceptivas la más parecida a cada estímulo. Se obtiene así una clasificación de las señales de entrada a través de las percepciones resultantes de la red en términos de las abstracciones. Estos patrones están caracterizados por medio de los pesos sinápticos inversos residentes a modo de abstracciones y organizados por vecindad.

La red está conformada por cuatro capas esféricas además de la capa externa o sensible. La capa externa se configura sobre la base de 18142 puntos de grilla sobre la superficie de la Tierra y los estímulos se expresan como series temporales escaladas correspondientes a cada uno de esos puntos de grilla. Esta capa externa transfiere los estímulos como sensación a la primera capa de neuronas internas. La primera capa interna se conforma sobre 256 neuronas dispuestas sobre una red esférica. La segunda capa de la red contiene 64 neuronas y se conecta con las 256 neuronas de la primera capa. Las percepciones generadas por los pesos inversos asociados a las neuronas de la primera capa permiten reconstruir las señales a modo de una abstracción primaria. Estas abstracciones de la primera capa interna se presentan como ejemplos a la segunda capa de 64 neuronas configurándose, por medio del mismo procedimiento aplicado a las series temporales de entrada a la primera capa, un mapa de red que contiene abstracciones más profundas y generales. De la misma manera se configura y entrena

una tercera capa de 16 neuronas, que recibe ejemplos de la segunda capa de 64 neuronas. Finalmente una cuarta capa de cuatro neuronas recibe como estímulos los ejemplos configurados sobre las 16 neuronas de la tercera capa de modo que la cuarta capa contiene las abstracciones más generales. Los procedimientos de entrenamiento de las capas interiores operan a modo de organización de las abstracciones elaboradas en las capas exteriores de la red.
Las series originales, a las que se ha filtrado el ciclo anual por medio de la media mensual de todo el período, se reconstruyen utilizando los primeros cinco armónicos de Fourier obteniendo una señal compuesta de muy baja frecuencia. Esta señal contiene períodos de hasta unos 13 años. Tras la reconstrucción parcial por medio de los primeros cinco armónicos de Fourier se presenta las series a la red y organiza en términos de las reconstrucciones parciales.

RESULTADOS

La neurona 1 de la cuarta capa es representativa de algunas regiones sobre el Pacífico occidental, Canadá y en forma dispersa en regiones del Pacífico oriental, Asia Central y América, parte del Ártico y áreas costeras antárticas. La serie presenta un máximo en torno a 1951, un mínimo durante la década de 1960 y un comportamiento estable hasta un leve incremento al finalizar la década de 1990. Esta neurona detecta dos cambios de comportamiento: en torno a 1956 y en torno a 1973.

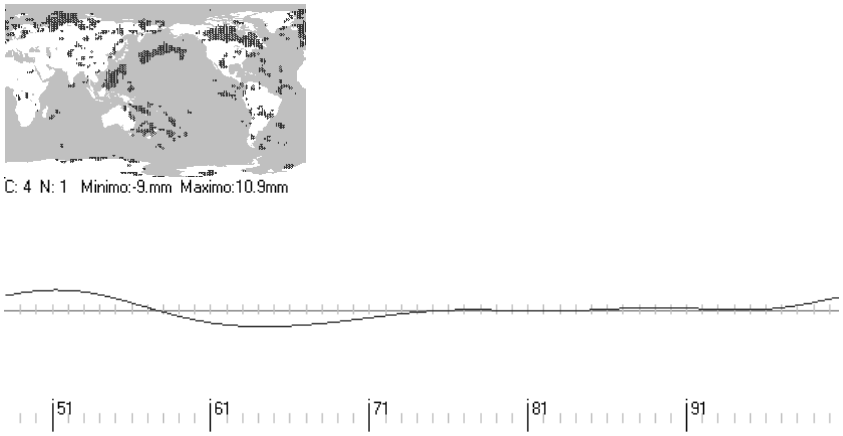


Figura 1. Representatividad espacial (izquierda) y serie temporal (derecha) en la neurona 1 de la capa cuatro sobre anomalías absolutas reconstruidas por medio de los primeros cinco armónicos de Fourier.

La neurona 2 presenta un débil máximo a comienzos de la década de 1970 y mínimos durante la de 1980, es representativa de regiones con escasa precipitación y variabilidad.

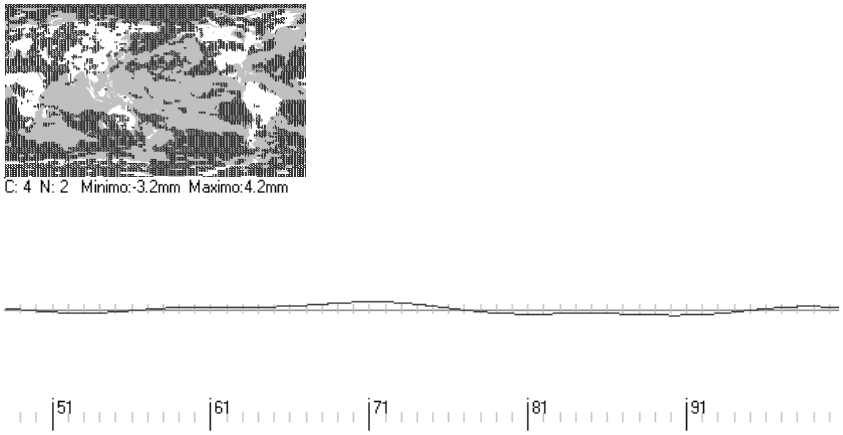


Figura 2. Representatividad espacial (izquierda) y serie temporal (derecha) en la neurona 2 de la capa cuatro sobre anomalías absolutas reconstruidas por medio de los primeros cinco armónicos de Fourier.

La neurona 3 presenta un máximo a finales de la década de 1950 y mínimos durante la de 1980. Es representativa sobre la banda ecuatorial en el Pacífico central y occidental, y África al norte del ecuador. En latitudes medias en el hemisferio sur representa las anomalías sobre el Pacífico sur hasta la Patagonia y en el Índico sur. En el hemisferio norte representa anomalías sobre Europa oriental y Asia centro-oriental, y sobre el Caribe extendiéndose hacia el Atlántico norte.

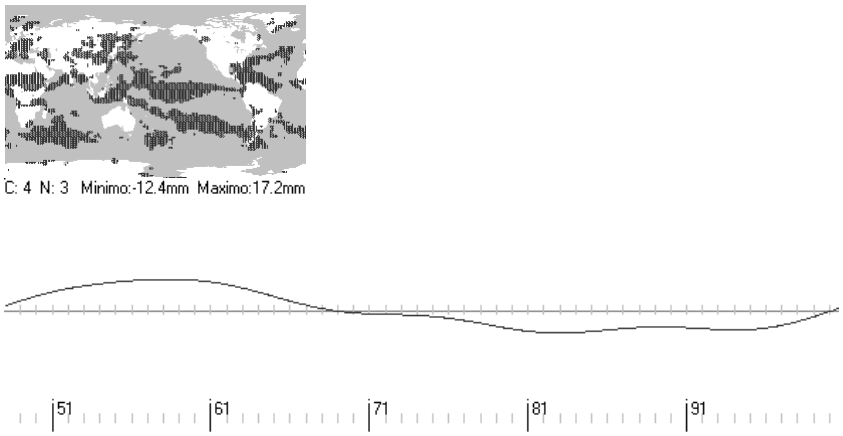


Figura 3. Representatividad espacial (izquierda) y serie temporal (derecha) en la neurona 3 de la capa cuatro sobre anomalías absolutas reconstruidas por medio de los primeros cinco armónicos de Fourier.

La neurona 4 muestra un mínimo a principios de la década de 1950 y máximos en la de 1990 con una estructura creciente acoplada con una oscilación en la escala de 11 años. Sobre la banda ecuatorial es representativa de África del sur, del Índico ecuatorial hasta Australia, el Pacífico al sur de la línea ecuatorial, del Amazonas y el Atlántico ecuatorial. En latitudes medias se expresa sobre el norte del continente americano, parte del Pacífico oriental y regiones del Atlántico y, en altas latitudes, en una banda en torno a Antártida.

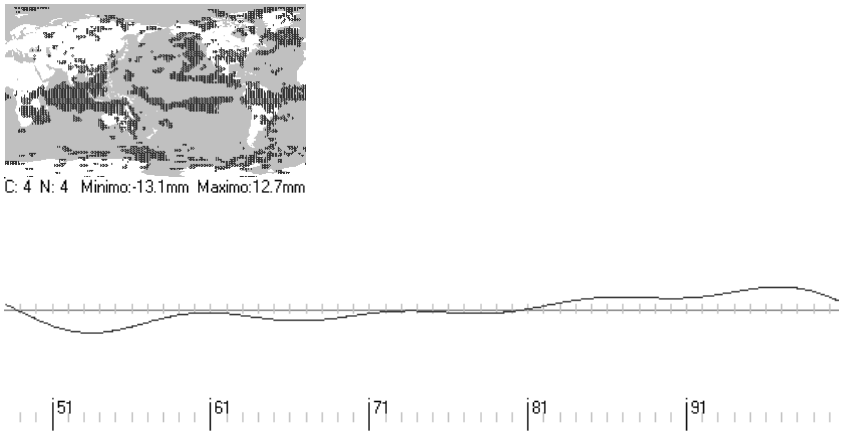
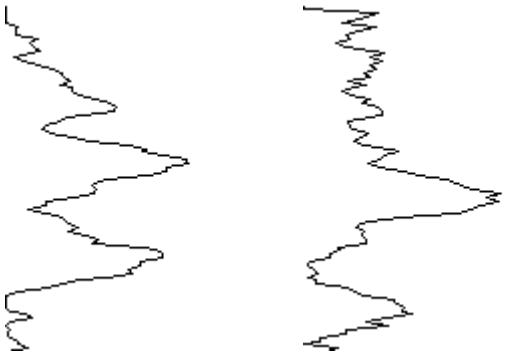


Figura 4. Representatividad espacial (izquierda) y serie temporal (derecha) en la neurona 4 de la capa cuatro sobre anomalías absolutas reconstruidas por medio de los primeros cinco armónicos de Fourier.

Puede notarse en las series temporales el comportamiento casi complementario en las neuronas 3 y 4. En la neurona 3 se observa un máximo a finales de la década de 1950 y un mínimo en las de 1980 y comienzos de la de 1990 mientras que en la 4 el mínimo se registra a comienzos de la década de 1950 y el máximo en la de 1990. La representatividad geográfica muestra un desplazamiento zonal ecuatorial de máximos de precipitación en África ecuatorial hacia el Índico, del oriente de Indonesia y el Pacífico occidental hacia el Pacífico central, y del Caribe hacia el Amazonas y el Atlántico respectivamente. En África la bipolaridad parece establecerse entre el norte y el sur del continente acoplado con el Índico y el Atlántico. En el Pacífico las anomalías parecen desplazarse del oeste al centro pero también de latitudes tropicales a la banda ecuatorial. Entre el sur del Índico y África ecuatorial, representado en la neurona 3, se observa un desplazamiento de los máximos en la década de 1950 hacia el Índico ecuatorial en la de 1990, expresado en la neurona 4. Los máximos en la década de 1950 en Europa y el oriente asiático se desplazan hacia el oriente del Pacífico norte y el norte del continente americano y Groenlandia. Los máximos en latitudes medias del hemisferio sur se desplazan hacia latitudes subpolares en torno del continente antártico. Los máximos sobre el Pacífico occidental y al norte de la línea ecuatorial en el Pacífico central se desplazan hacia el Pacífico central al sur de la línea del ecuador y no se registran los máximos sobre Australia y en la pendiente desde Indonesia hasta el sur de Chile, presente en la década de 1950 y ausente en la de 1990. Los máximos en el Caribe se desplazan hacia el Amazonas y el Atlántico.

En términos aún más generales, los máximos en latitudes medias se desplazan a latitudes más altas, de Europa y Asia hacia América del Norte y Groenlandia, de latitudes medias a subpolares del hemisferio sur, por otra parte hay desplazamientos de anomalías del cono sur de Sudamérica hacia el norte del subcontinente, del Caribe al Amazonas y del norte al sur de África. En la banda ecuatorial, en el promedio meridional de las neuronas 3 (ver Fig. 5 izquierda) y 4 (ver Fig. 5 derecha), puede verse que los máximos ecuatoriales se han desplazado del norte al sur de la línea ecuatorial, que se han dispersado los máximos en latitudes medias del hemisferio norte y que se han desplazado a latitudes subpolares los máximos de latitudes medias en el hemisferio sur.



Neurona 3 Neurona 4

Figura 5. Distribución meridional de representatividad de las neuronas 3 y 4 de la cuarta capa de la red aplicada sobre anomalías absolutas reconstruidas por medio de los primeros cinco armónicos de Fourier.

La distribución de anomalías sobre la banda ecuatorial sugiere un desplazamiento meridional de la convergencia intertropical con una oscilación en la escala de varias décadas, que probablemente excede el rango del registro utilizado. El cambio observado en torno a 1973 se expresa en las neuronas 3 y 4, y podría representar esta oscilación en la banda ecuatorial. El cambio observado en 1956 está más restringido al Pacífico occidental y al hemisferio norte aunque podría representar una definida transición de fase de la misma oscilación.

La neurona 5 de la tercera capa, la neurona 12 de la segunda y la neurona 216 de la primera permiten identificar las regiones, en el Pacífico central y en África, que presentan el mismo patrón de variabilidad en muy baja frecuencia. En todas las series se observa una oscilación en la escala de 11 a 14 años acoplada con el largo período (en la primera capa se ha preferido conservar la escala a pesar de exceder el margo del gráfico a fines de facilitar la comparación visual de amplitudes).

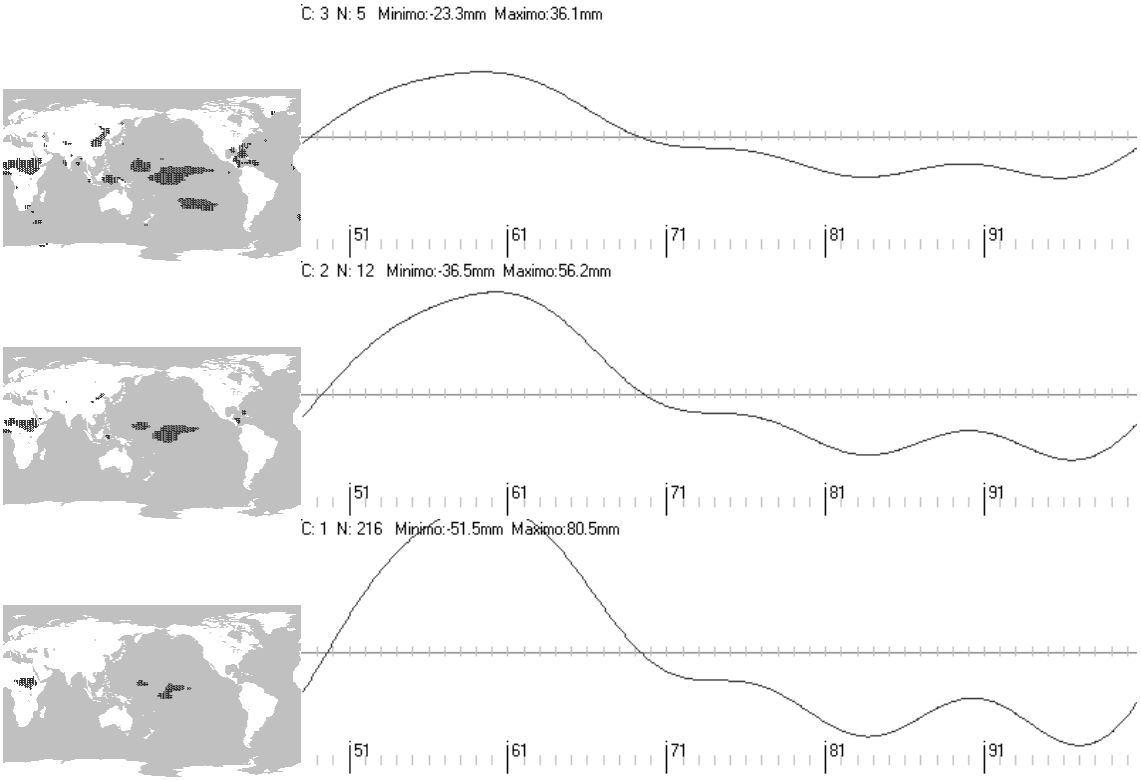


Figura 6. Representatividad espacial (izquierda) y serie temporal (derecha) en la neurona 5 de la capa tres (arriba), 12 de la capa dos (centro) y 216 de la capa uno (abajo) sobre anomalías absolutas reconstruidas por medio de los primeros cinco armónicos de Fourier.

Las neuronas 16 de la tercera capa y 38 de la segunda (ver Fig. 7) presentan un mínimo en la década de 1950 y máximos en la de 1980 y comienzos de la de 1990, expresando la estructura de variabilidad una oscilación acoplada en la escala de 11 a 14 años y regionalmente representativa sobre el Amazonas, el Índico y el Pacífico central al sur de la línea ecuatorial. En la primera capa de la red se separa el comportamiento del Índico con respecto al Amazonas. Se observa un mínimo en el Índico en la década de 1950 (neurona 236) pero en el Amazonas el mínimo se registra en la década de 1960 (neurona 87) con un rápido cambio a un máximo a comienzos de la década de 1970, cambio que es más gradual en el Índico.

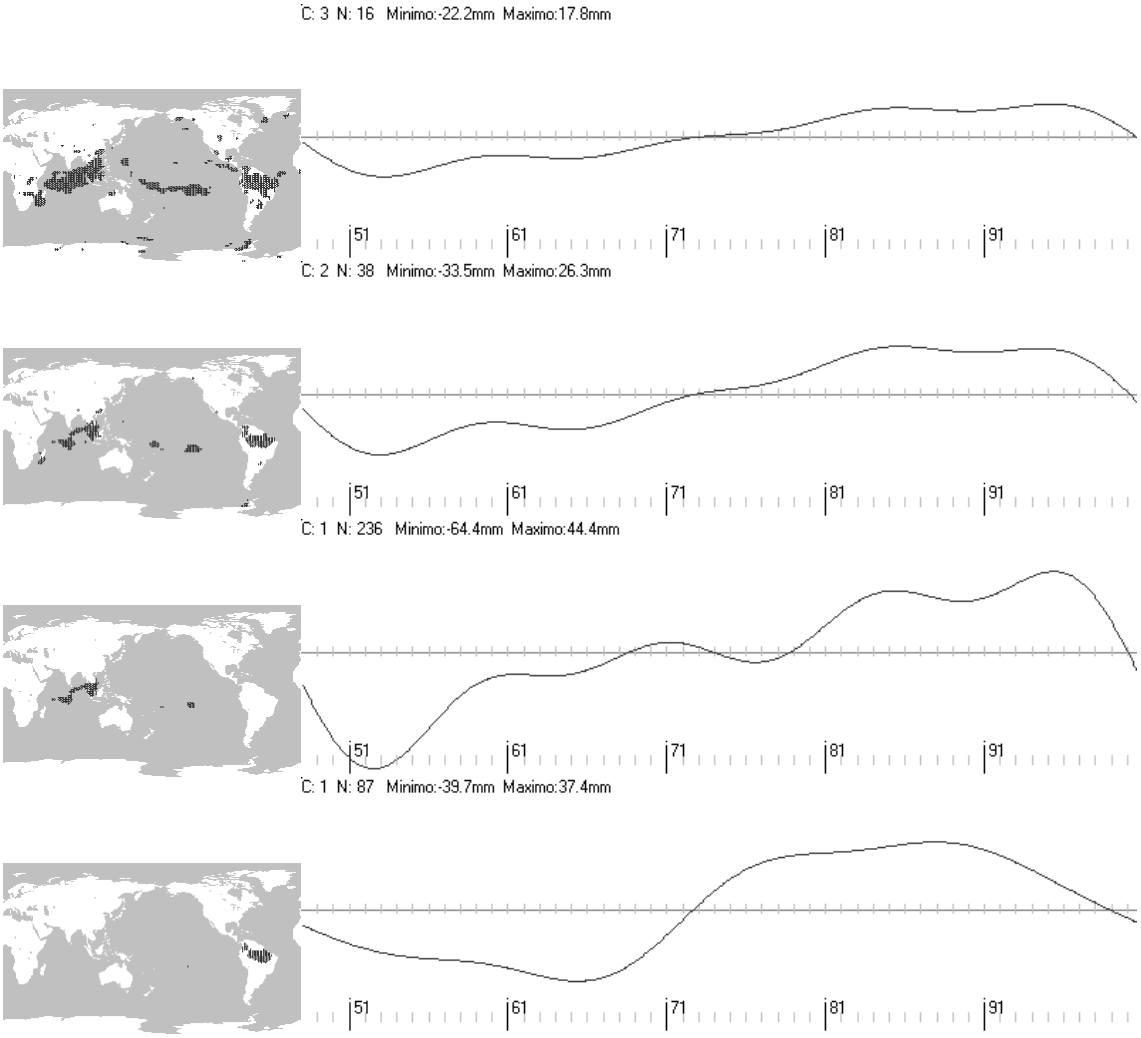


Figura 7. Representatividad espacial (izquierda) y serie temporal (derecha) en la neurona 16 de la capa tres (arriba), 38 de la capa dos (centro-arriba), 236 de la capa uno (centro-abajo) y 87 de la capa uno (abajo) sobre anomalías absolutas reconstruidas por medio de los primeros cinco armónicos de Fourier.

CONCLUSIONES

Se ha aplicado una técnica de mapas auto-organizados de redes neuronales en cuatro capas entrenado por recirculación para organizar series de anomalías en la precipitación a partir de reanálisis. Las anomalías se filtraron por medio de la selección rígida de los cinco primeros armónicos de Fourier sobre 53 años de registro. El análisis de la capa más profunda de la red permite registrar un comportamiento casi complementario en la gran escala espacial y temporal. Los máximos de anomalía en latitudes medias se habrían desplazado, entre la década de 1950 y las de 1980/90 a latitudes más altas, de Europa y Asia hacia América del Norte y Groenlandia, de latitudes medias a subpolares del hemisferio sur, del cono sur de Sudamérica hacia el norte del subcontinente, del Caribe al Amazonas y del norte al sur de África. En promedio meridional los máximos ecuatoriales se habrían desplazado del norte al sur de la línea ecuatorial, a latitudes subpolares los máximos de latitudes medias en el hemisferio sur, y se habrían dispersado los máximos en latitudes medias del hemisferio norte.

La distribución de anomalías sobre la banda ecuatorial sugiere un desplazamiento meridional de la convergencia intertropical con una oscilación en la escala de varias décadas, que probablemente excede el rango del registro utilizado. El cambio observado en torno a 1973 podría representar esta oscilación en la banda ecuatorial. El cambio observado en 1956 está más restringido al Pacífico occidental y al hemisferio norte aunque podría representar una definida transición de fase de la misma oscilación.

Esta gran escala temporal de variabilidad podría estar acoplada con una más corta en la torno a los 11 a 14 años. Las anomalías en el Pacífico central y África ecuatorial parecen estar acopladas. El comportamiento del Índico y del Amazonas parecen estar vinculados pero el patrón de anomalía en exceso parece preceder en unos diez años en el Índico (década de 1950) con respecto al Amazonas (década de 1960). El incremento de lluvias sería más gradual en el Índico y muy rápido en el Amazonas en torno a 1973.

BIBLIOGRAFÍA

[1] Björn A Amos W Climate Zonation in Puerto Rico Based on Principal Components Analysis and an Artificial Neural Network (1999). *Journal of Climate,* Volume 12, Issue 4

[2] Chang P Ji L Li H. A decadal climate variation in the tropical Atlantic Ocean from thermodynamic air-sea interactions (1997). *Nature* 385, 516-518 doi:10.1038/385516a0

[3] Cogliati M Britos P García-Martínez R. Análisis de variables agrometeorológicas en noches de heladas utilizando mapas auto organizados y algoritmos de inducción (2006). *XI Reunión Argentina de Agrometeorología.* Septiembre, 6 a 8. 2006. Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales. Universidad Nacional de La Plata.

[4] Dijkstra HA Ghil M. Low-frecuency variability of the large-scale ocean circulation: A dynamical systems approach (2005). *Reviews of Geophysics*, 43, RG3002. Doi:10.1029/2002RG000122 (Septiembre de 2005).

[5] Fayos J Fayos C. Wind Data Mining by Kohonen Neural Networks (2007). *PLoS ONE*. 2007; 2(2): e210. Published online 2007 February 14. doi: 10.1371/journal.pone.0000210. PMCID: PMC1790699

[6] Hall M Minns A Ashrafuzzaman A. The application of data mining techniques for the regionalisation of hydrological variables (2002). *Hydrology and Earth System Sciences*, 6(4), 685–694
[7] Hinton GE McClelland JL. Learning Representation by Recirculation (1988). *American Institute of Physics*. Proc. IEEE Conf on Neural Information Processing Systems, Nov. 1988. pp. 358-366.
[8] Hoffmann JAJ. La distancia crítica para la interpolación de datos y la reducción de las estadísticas de precipitación al mismo período de la República Argentina (1970). *Meteorológica*, Vol. 1, Nº 2. pp. 55-64.
[9] Huggenberger DA. Tesis de Licenciatura en Ciencias de la Atmósfera: Análisis de las Correlaciones entre Índices de Baroclinicidad y la Precipitación en el Cono Sur de Sudamérica. (1994) Dirigida por Dr. Walter M. Vargas. Presentada el 7 de julio de 1994.
[10] Hurrell JW et al. Atlantic climate variability and predictability: A CLIVAR perspective (2006). *Journal of Climate* Volume 19 pp. 5100-5121.
[11] Kilpatrick D Williams R. Unsupervised classification of Antarctic satellite imagery using Kohonen self-organising feature map (1995). *Proceedings., IEEE International Conference on Neural Networks*. Volume 1, Issue , Nov/Dec 1995 Page(s):32 - 36 vol.1
[12] Kohonen T. Self Organizing Maps (2001) (3º ed.) USA, *Springer*. (Caps. 3, 4 y 5)
[13] Marshall J Kushnir Y Battisti D Chang P Czaja R Hurrell J McCartney M Saravanan M Visbeck M (2001). North Atlantic Climate Variability: Phenomena, Impacts and Mechanisms. *Review. Int. J. Climatol*. 21: 1863-1989.
[14] Michaelides S Pattichis C. Classification of rainfall distributions with the use of Artificial Neural Networks (1998) *Proceedings: 4th Panhellenic Conference on Meteorology, climatology and Atmospheric Physics*. Athens, Greece, September 1998. pp. 251-256.
[15] Murphy J Kattsov V Keenlyside N Kimot M Meehl G Mehta V Pohlmann H Scaife A Smith D. Towards Prediction of Decadal Climate Variability and Change (2009) *WCC-3 Decadal Climate Variability Session*. World Climate research Program. www.wcrp-climate.org/decadal/references/WCC3_Decadal_WhitePaper.pdf
[16] Ruiz-Barradas A Carton JA Nigam S. Structure of Interannual-to-Decadal Climate Variability in the Tropical Atlantic Sector (1999). *Journal of Climate* Volume 13 pp. 3285-3297.
[17] Schmittner A Appenzeller C Stocker TF. Enhanced Atlantic freshwater export during El Niño (2000). *Goephysical Research Letters*, Vol. 27, Nº. 8, Pp. 1163-1166.
[18] 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 (2006). *Geophysical Research Abstracts*, Vol. 8, 00429.
[19] Turiasa I González M Galindoa P. A competitive neural network approach for meteorological situation clustering (2006). *Atmospheric Environment*, Volume 40, Issue 3, January 2006, Pp. 532-541.
[20] Unal YS Ghil M. Interannual and interdecadal oscillation patterns in sea level (1995). *Climate Dynamics* 11:255-278.
[21] Vargas WM Huggenberger DA. Variability of River Streamflow as a Climatic Indicator (2000). *Poster en Sixth International Conference on Southern Hemisphere Meteorology and Oceanography* (Buenos Aires, 3 a 7 de abril de 2000)
[22] Vargas WM Huggenberger DA. Una clasificación de la lluvia en al cono sur de Sudamérica desde una perspectiva global por medio de un mapa auto organizado de

redes neuronales (2009). *X Congreso Argentino de Meteorología y XIII Congreso Latinoamericano e Ibérico de Meteorología*. Buenos Aires, 5 al 9 de octubre de 2009. E-Book ISBN 978-987-1323-17-3 pp. 345-353 CNEA 2010

ANÁLISIS DE OSCILACIONES DE MUY BAJA FRECUENCIA EN ANOMALÍAS RELATIVAS EN LA PRECIPITACIÓN GLOBAL

Huggenberger, Darío A (1), Vargas, Walter M. (2)

(2) Facultad Regional "Delta". Universidad Tecnológica Nacional.
(2) Departamento de Ciencias de la Atmósfera. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. Universidad de Buenos Aires.

e-mail: dhuggenberger@frd.utn.edu.ar

RESUMEN

Se aplica una red neuronal consistente en un mapa auto organizado de Kohonen de cinco capas esféricas entrenado por recirculación para organizar, caracterizar y regionalizar patrones de variabilidad en muy baja frecuencia de anomalías relativas en la precipitación global durante la segunda mitad del siglo XX sobre la base de reanálisis y una selección de armónicos de Fourier. Se observó conexiones entre el Pacífico central al norte de la línea ecuatorial y África central al norte del ecuador, donde hubo máximos de precipitación desde 1957 hasta mediados de la década de 1960 y mínimos desde 1973 y durante las décadas de 1980 y 1990. El régimen complementario se registró sobre el Pacífico central al sur de la línea ecuatorial, el norte de Australia, África al sur del ecuador, el Amazonas, el Atlántico ecuatorial, el Índico ecuatorial, Indochina, el Pacífico frente a México y el occidente de Indonesia. Se sugiere, a modo de hipótesis, que podría representar la transición de fase de una única oscilación en la escala de 70 años y que el cambio de largo período podría estar vinculado con un desplazamiento de la actividad en la convergencia intertropical durante la segunda mitad del siglo XX.

Palabras clave: Variabilidad climática, precipitación, redes neuronales, mapas auto organizados.

INTRODUCCIÓN

El problema de la variabilidad en el comportamiento de la atmósfera es una de las cuestiones principales de la climatología. En el trabajo se ensaya el uso de redes neuronales como filtro de ruido y en términos de aislar y organizar síntesis de información. En el presente estudio se procura analizar el carácter y comportamiento de posibles procesos periódicos o casi periódicos de muy baja frecuencia en la precipitación global.

Al aplicar técnicas de descomposición armónica en series de precipitación en Sudamérica en la tesis de licenciatura, aunque no fue presentado en aquella oportunidad (Huggenberger, 1994), se observó la presencia de ciclos de poco más de dos años, otro algo mayor de tres años y medio, un tercero de casi cinco años, otro de unos seis años, otro período en el orden de nueve años y uno que se encontraba entre diecisiete y dieciocho años. Esto fue estudiado luego en series de caudales (Vargas-Huggenberger, 2000) utilizando como filtro natural de alta frecuencia la respuesta hidrológica a la precipitación, aunque este enfoque presenta el problema de la representatividad espacial

en relación con las cuencas. Un análisis preliminar exploratorio de series reanalizadas de precipitación global mostró también la presencia de los mencionados ciclos en las mismas regiones. De allí que se asume que estas series de precipitación, obtenidas a partir de reanálisis, a pesar de la fuerte dependencia del modelo que presenta esta variable, contienen los aspectos esenciales de la variabilidad que se pretende estudiar. Conclusiones del WCC3 avalan esta asunción (Murphy, 2009). Es clara la ventaja que tiene el reanálisis en puntos de grilla desde la perspectiva de la cobertura global uniforme y la no existencia de datos faltantes. Por otra parte, se considera que el reanálisis filtra, a partir de las ecuaciones básicas que son modeladas, efectos locales como tormentas intensas que también afectan la representatividad regional de series pluviométricas (Hoffmann, 1970).

Períodos en largas escalas de tiempo fueron detectados por varios investigadores. Unal et al. (1995), aplicando técnicas de análisis espectral singular multicanal, hallan oscilaciones de baja frecuencia. Sobre el Atlántico oriental se observa un período de 11.6 años que se propaga hacia el sur desde 70ºN hasta 40ºN en 4 años con un máximo de amplitud en 50ºN. En el Atlántico occidental, entre 10ºN y 50ºN hallan un ciclo regular de 12.8 años con señales que convergen en 30ºS, donde se observa un máximo de amplitud registrándose oposición de fase en 10ºS, y otro periodo menos definido entre 10 y 11 años. Una oscilación en la escala de 13 años se detecta en el Atlántico (Chang, 1997) posiblemente vinculada en un proceso de realimentación positiva entre el océano y la atmósfera.

Es claro que existe un rol de la circulación oceánica en la variabilidad interanual pero no es simple explicar los mecanismos físicos involucrados. Una metodología de aplicación reciente es el análisis de las componentes oscilatorias en perturbaciones sobre el estado básico descriptas por modelos dinámicos (Dijkstra, 2005). Schmittner (2000) presenta un posible vínculo entre los eventos ENSO y la intensidad de la circulación termohalina que resulta incrementada en condiciones de Niño. Si bien el trabajo se orienta a la evaluación de potenciales alteraciones ante un cambio climático, merece atención el posible vínculo entre una anomalía de salinidad a comienzos de la década de 1970 con las alteraciones globales observadas en torno a 1973 (Marshall, 2001). Otros investigadores analizan el comportamiento de un evento similar al Niño en el Atlántico (Ruiz-Barradas, 1999). Un gran esfuerzo se desarrolla en términos de conocer las vinculaciones entre la variabilidad en el Atlántico tropical e índices como la Oscilación del Atlántico Norte (NAO) y la circulación meridional atlántica profunda (Meridional Overturning Circulation MOC) (Hurrell, 2006).

Con el objeto de organizar la estructura de la variabilidad en muy baja frecuencia, en escala casi secular, se recurrió a la organización de un patrón de señales por medio de mapas auto organizados de redes neuronales (Kohonen, 2001). Un mapa auto organizado de Kohonen se orienta al objetivo de modelar el funcionamiento de la corteza del cerebro. La red de Kohonen simula el proceso de especialización a partir de un estado neutro de una red neuronal presentando ejemplos a la red y configurando patrones de pesos sinápticos progresivamente adaptados a los ejemplos presentados.

En general las aplicaciones de redes neuronales basadas en mapas auto organizados de Kohonen se centran en el objetivo de clasificación (Turiasa et al. 2006) (Björn and Amos 1999) (Hall et al., 2002) (Steynor et al. 2006) (Fayos, 2007) (Kilpatrick, 1995) (Michaelides, 1998) (Cogliati et al., 2006). En esta aplicación se utiliza el mapa de red

para organizar una señal conformada por la composición de los primeros cinco armónicos de Fourier de anomalías relativas en la precipitación total mensual obtenida de reanálisis en puntos de grilla.
En una primera parte del trabajo se describe sucintamente la metodología y fuente de datos. En una segunda parte se sintetiza los resultados. La tercera parte contiene una discusión y conclusiones generales.

DATOS Y METODOLOGÍA

La información de base consiste en 53 años de reanálisis (636 valores mensuales entre 1948 y 2000 obtenidos de la variable "prate" de la dirección http://cola8.iges.org:9090/dods/rean_2d.info). Se utiliza un conjunto de 18142 patrones de entradas en forma de series temporales de anomalías mensuales en la lluvia, obtenida por extracción de la onda anual media, estandarizada por medio de la desviación normal, reconstruidas las anomalías por medio de los primeros cinco armónicos de Fourier, 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 anomalías relativas en la lluvia acumulada mensualmente en cada punto de grilla. Es sabido que la precipitación es una de las variables menos confiablemente calculada y pronosticada, pero, como se mencionó en la introducción, el reanálisis de precipitación contiene considerable información acerca del patrón de lluvias cubriendo regularmente el Globo.
En el marco del trabajo que aquí se desarrolla se entenderá por "sensación" el patrón de actividad de un conjunto de neuronas estimuladas por un factor externo, la "percepción" consistirá en el patrón de actividad de neuronas internas en respuesta a la sensación. La "abstracción", en cambio, se relaciona con la actividad residente en las neuronas internas en ausencia de sensación y percepción, lo que permite reconstruir una imagen representativa de las sensaciones. Las relaciones de vecindad entre patrones caracterizados por la red o abstracciones se proyectan sobre la base de datos como vínculos entre los grupos establecidos.
Para evitar efectos de borde se utilizará una red bidimensional de neuronas equidistantes en términos angulares en la superficie de una esfera. Las ubicaciones de las neuronas en la superficie de la red se definen por medio de vectores de módulo unitario a través de las coordenadas angulares cenital y azimut.
Se aplica un procedimiento de recirculación al entrenamiento de la red (Hinton, 1988). Este procedimiento, que fue descripto en más detalle en Vargas-Huggenberger (2009), consiste en interconectar las neuronas visibles por medio de pesos sinápticos dirigidos hacia las neuronas ocultas. Cada una de las neuronas ocultas sintetiza la información recibida o estímulo sobre las neuronas visibles a modo de sensación integrada en un único parámetro. Un patrón de pesos sinápticos inversos, es decir de las neuronas ocultas dirigidos a las visibles, devuelve un conjunto de imágenes a modo de percepciones o respuestas primarias a la sensación original generadas a partir del parámetro escalar sensación y de los pesos sinápticos de las neuronas. Entre todas las respuestas o percepciones primarias, se selecciona aquella con máxima similitud al patrón original de estímulos. Los mismos pesos sinápticos directos generan una nueva síntesis interna escalar como reflexión de la percepción primaria seleccionada sobre la

neurona interna que la generó. El procedimiento de recirculación consiste en modificar los pesos directos e inversos de manera tal que los parámetros que definen la imagen interna de la sensación directa y de la percepción reflejada converjan a un mismo valor, a la vez que la percepción primaria se aproxime progresivamente al patrón presentado por el estímulo externo. En la medida que el proceso de iteración evoluciona, la percepción primaria se estabiliza constituyéndose en percepción definitiva, o simplemente percepción, y el patrón de pesos sinápticos configura una abstracción estable a la que se puede recurrir en dos sentidos: como patrón de referencia para futuras percepciones y como estímulo para entrenar capas internas de la red evocando en ausencia el patrón original que configuró el estímulo. En el método original de Hinton la red interna es de menor dimensión que la externa. Al utilizar una única neurona como síntesis interna, se pierde el beneficio de la distribución de memoria llevando en cambio la compresión al límite y posibilitando que el patrón de pesos sinápticos almacenados en esa única neurona pueda ser interpretado como una síntesis de los ejemplos presentados a la red.

En términos numéricos, un conjunto de estímulos provienen de un ambiente en el que está inmersa la red. Esos estímulos se expresan por medio de un vector (**X0**). Los pesos directos (**Wd**) conducen el estímulo desde la neurona visible o elemento sensible, que en la red es el conjunto de datos originales, hacia la neurona interna. En ella la sensación se obtiene como producto escalar (Y1=**Wd.X0**) entre la señal y los pesos directos. A partir de los pesos inversos (**Wi**), dirigidos desde la misma neurona hacia la capa visible, se elabora la percepción (**X2** = Y1**Wi**) como producto por escalar. Como si esta respuesta primaria formase parte del ambiente, a partir de un producto escalar con los mismos pesos sinápticos directos configura una segunda respuesta interna de la red (Y3=**Wd.X2**) que debe asimilarse a la sensación primaria (Y1) en la medida que la percepción primaria (**X2**) converge hacia el estímulo (**X0**). De este modo la percepción (**X2**) se elabora progresivamente como una respuesta de la red al estímulo (**X0**), que a la vez es análogo al patrón de pesos inversos (**Wi**) o abstracción. Por lo tanto los patrones inversos contienen una representación abstracta de la señal de origen, donde el término "abstracción" se utiliza en el sentido de no representar una señal en especial sino los aspectos típicos, generales y relevantes para su reconocimiento, que además persisten como una característica adquirida de la red al entrenamiento.

Al finalizar el entrenamiento de la red y aplicando la misma definición de distancia entre los patrones individuales de información o estímulos y las percepciones, se identifica entre las respuestas perceptivas la más parecida a cada estímulo. Se obtiene así una clasificación de las señales de entrada a través de las percepciones resultantes de la red en términos de las abstracciones. Estos patrones están caracterizados por medio de los pesos sinápticos inversos residentes a modo de abstracciones y organizados por vecindad.

La red está conformada por cuatro capas esféricas además de la capa externa o sensible. La capa externa se configura sobre la base de 18142 puntos de grilla sobre la superficie de la Tierra y los estímulos se expresan como series temporales escaladas correspondientes a cada uno de esos puntos de grilla. Esta capa externa transfiere los estímulos como sensación a la primera capa de neuronas internas. La primera capa interna se conforma sobre 256 neuronas dispuestas sobre una red esférica. La segunda capa de la red contiene 64 neuronas y se conecta con las 256 neuronas de la primera capa. Las percepciones generadas por los pesos inversos asociados a las neuronas de la primera capa permiten reconstruir las señales a modo de una abstracción primaria. Estas

abstracciones de la primera capa interna se presentan como ejemplos a la segunda capa de 64 neuronas configurándose, por medio del mismo procedimiento aplicado a las series temporales de entrada a la primera capa, un mapa de red que contiene abstracciones más profundas y generales. De la misma manera se configura y entrena una tercera capa de 16 neuronas, que recibe ejemplos de la segunda capa de 64 neuronas. Finalmente una cuarta capa de cuatro neuronas recibe como estímulos los ejemplos configurados sobre las 16 neuronas de la tercera capa de modo que la cuarta capa contiene las abstracciones más generales. Los procedimientos de entrenamiento de las capas interiores operan a modo de organización de las abstracciones elaboradas en las capas exteriores de la red.

Las series originales, a las que se ha filtrado el ciclo anual por medio de la media mensual de todo el período, se reconstruyen utilizando los primeros cinco armónicos de Fourier obteniendo una señal compuesta de muy baja frecuencia. De este modo la señal contiene períodos de hasta unos 13 años. Tras la reconstrucción parcial por medio de los primeros cinco armónicos de Fourier se presenta las series a la red y organiza en términos de las reconstrucciones parciales.

RESULTADOS

La neurona 1 de la cuarta capa (ver Fig. 1) describe una serie con un mínimo en la década de 1960 y un proceso ascendente en las lluvias desde entonces hasta la década de 1990. Si bien la serie presenta un patrón regionalmente muy disperso, es dominante en zonas oceánicas, en especial en torno a Australia, en el Atlántico norte, en áreas ecuatoriales del Atlántico y el Pacífico cerca de Sudamérica, en algunas regiones del Pacífico norte, en forma dispersa alrededor de Antártida y del sur de África, y sobre Sudamérica en Venezuela y al sur de Brasil.

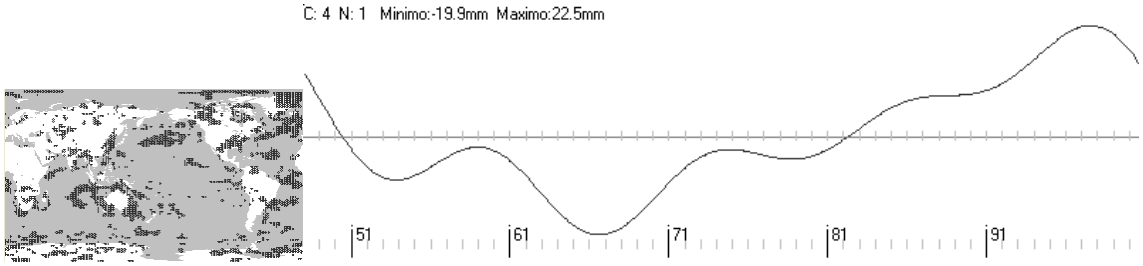


Figura 1. Representatividad espacial (izquierda) y serie temporal (derecha) en la neurona 1 de la capa cuatro sobre anomalías relativas reconstruidas por medio de los primeros cinco armónicos de Fourier.

La neurona 2 de la cuarta capa presenta un comportamiento similar a la primera aunque con una amplitud menor. Es dominante en el Amazonas, el Pacífico central sobre la línea ecuatorial, en áreas del Pacífico frente a México, Estados Unidos y Canadá, el Índico y el Sudeste asiático, Australia y sobre el Mar Antártico.

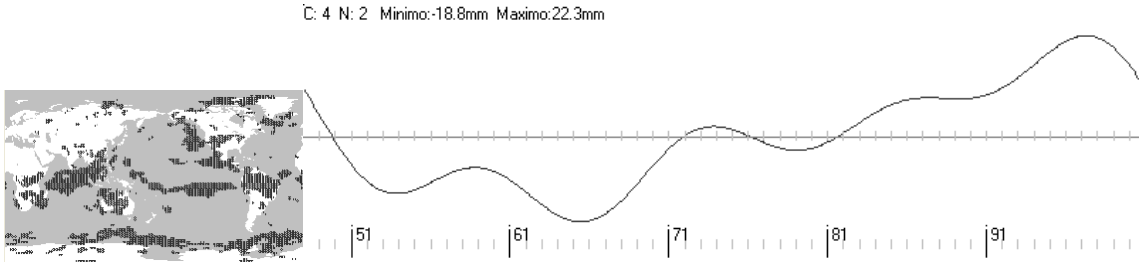


Figura 2 Representatividad espacial (izquierda) y serie temporal (derecha) en la neurona 2 de la capa cuatro sobre anomalías relativas reconstruidas por medio de los primeros cinco armónicos de Fourier.

La neurona 3 en cambio presenta un máximo en la década de 1950 y 1960 y un mínimo en la de 1980, aunque de pequeña amplitud. Es dominante en áreas oceánicas de latitudes medias y altas del Pacífico, en latitudes medias del Atlántico, en regiones de escasa precipitación, en Europa occidental, y en Sudamérica sobre el centro y norte de Argentina.

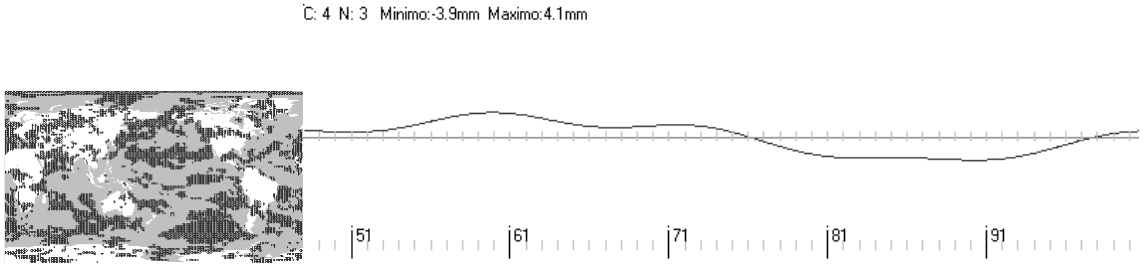


Figura 3 Representatividad espacial (izquierda) y serie temporal (derecha) en la neurona 3 de la capa cuatro sobre anomalías relativas reconstruidas por medio de los primeros cinco armónicos de Fourier.

La neurona 4 de la cuarta capa presenta un máximo a comienzos de la década de 1950 y un mínimo en la de 1980. Es dominante en el Pacífico central y occidental al norte de la línea ecuatorial y en latitudes medias del hemisferio sur, sobre el Atlántico norte tropical, en regiones del Ártico y del continente antártico, sobre el Sahara y en áreas oceánicas al sur de África, en Asia oriental y sobre Sudamérica en el oeste de Colombia, en Bolivia y Chile y en Argentina sobre Cuyo y la Patagonia incluyendo el mar continental.

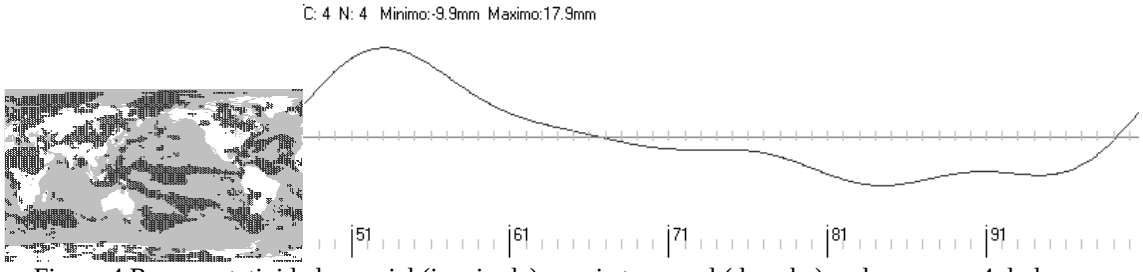
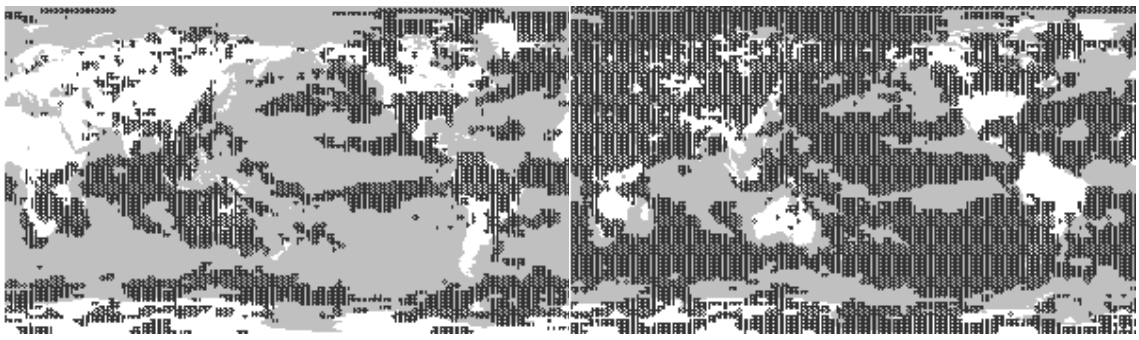


Figura 4 Representatividad espacial (izquierda) y serie temporal (derecha) en la neurona 4 de la capa cuatro sobre anomalías relativas reconstruidas por medio de los primeros cinco armónicos de Fourier.

Si se configura un solo patrón de variabilidad de largo período con los dos primeros patrones (1+2) (Ver Fig. 5), se observa un mínimo en la década de 1960 y un máximo en la de 1990 acoplado con una fluctuación en la escala de 11 a 14 años. El otro patrón unificado (3+4) es menos uniforme presentando un mínimo en la década de 1980 y máximos a comienzos o finales de la de 1950 insinuándose apenas un acople con una oscilación en la escala de 14 años. El patrón 1+2 predomina sobre el norte de

Sudamérica cubriendo todo el Amazonas, el Pacífico ecuatorial expresándose más plenamente al sur del ecuador, Indonesia, el Índico, el Sudeste Asiático, el sur de África, una banda marítima en torno a Antártida, el Pacífico norte oriental, USA, el Atlántico al norte del ecuador y en altas latitudes desde Terranova hasta Islandia y parte del Ártico al norte de Groenlandia. El patrón 3+4 es dominante en la mayor parte del Globo cubriendo el norte de África, Europa, la mayor parte de Asia y el Ártico, la Antártida, una banda oceánica sur de latitudes medias incluyendo el oeste y sur de Argentina, el Pacífico occidental y áreas tropicales del Pacífico central y el norte tropical oriental, y el Atlántico en latitudes medias. Es un tanto aventurado conjeturar sobre estas observaciones, pero parece que el cambio en el más largo período está vinculado con un incremento de actividad, durante la segunda mitad del siglo XX, en la convergencia intertropical en el Índico, Australia, Indonesia y el sur de África, el Pacífico al sur de la línea ecuatorial, el Amazonas y el Atlántico al norte de la línea ecuatorial, por otra parte en la banda circumpolar antártica y, de un modo más complejo, en el Pacífico oriental norte y el Atlántico norte. Si este par de esquemas responde a un proceso periódico, la escala de variabilidad debe encontrarse en el orden de los 60 o 70 años. Unos pocos indicios sugieren que tal proceso podría ser real al observar la secuencia de neuronas 4 y 3, y el máximo a comienzos de la década de 1950 que se traslada a finales de la década en la neurona 3 asociados con un leve desplazamiento en los campos 4 y 3.



1+2 3+4

Figura 5 Representatividad espacial de las neuronas 1 y 2 (izquierda) y 3 y 4 (derecha) de la capa cuatro sobre anomalías relativas reconstruidas por medio de los primeros cinco armónicos de Fourier.

En la secuencia (ver Fig. 6) tomada sobre la segunda capa se observa un cambio en el comportamiento sobre el Pacífico central al norte y al sur del ecuador: mientras que en las neuronas 42 y 16 se observa un máximo progresivo en la década de 1950 con un desplazamiento de las anomalías desde el Pacífico occidental al central, y mínimos en las de 1980 y 1990 acoplando el norte el Pacífico ecuatorial con África al norte del ecuador, en las neuronas 13 y 60 se observa el patrón temporal inverso acoplando el sur ecuatorial Pacífico con el Índico y el Amazonas, y el norte ecuatorial pacífico con África ecuatorial, lo que sugiere un desplazamiento de los máximos desde el oeste al este y desde el norte al sur de la línea ecuatorial.

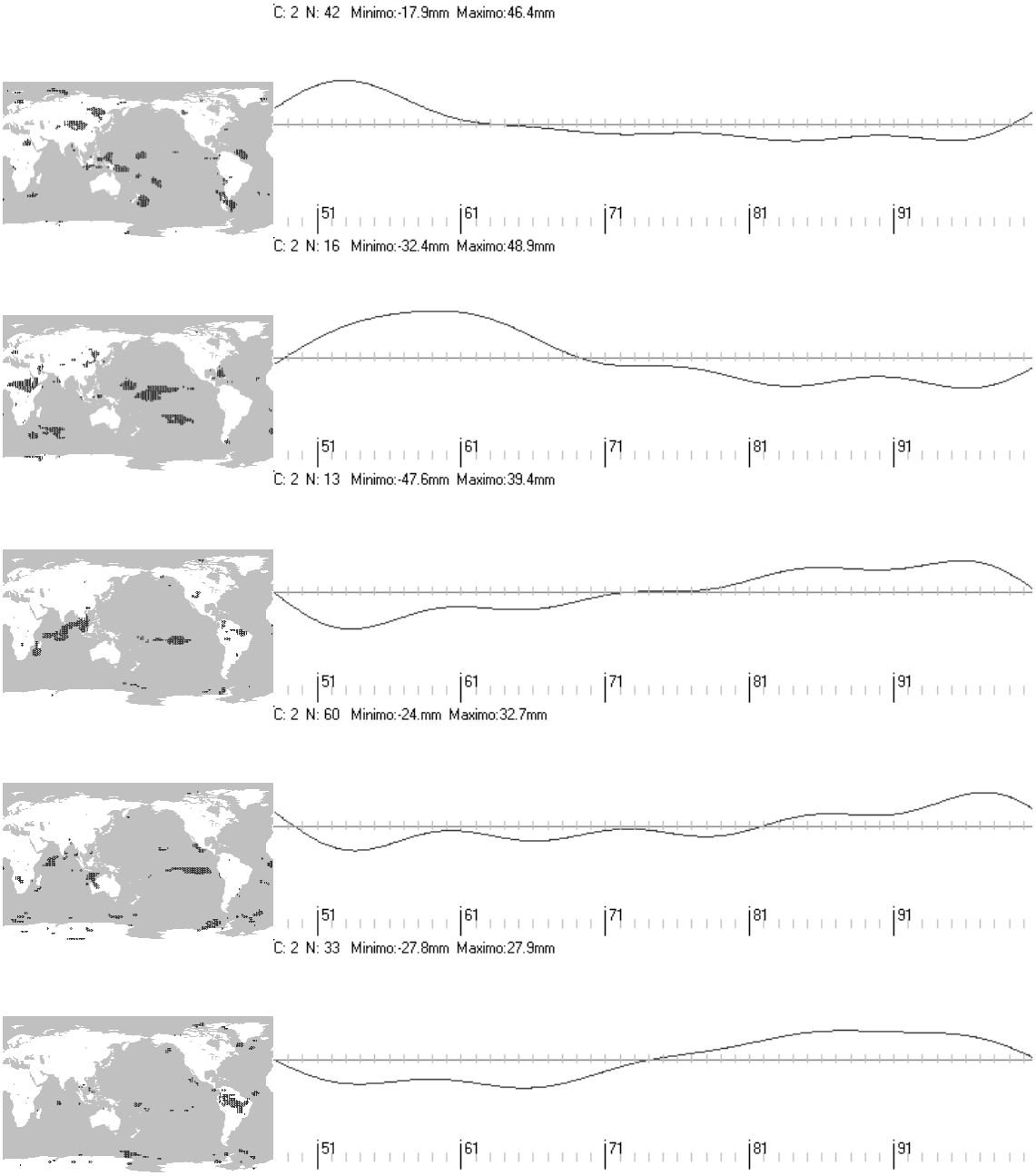
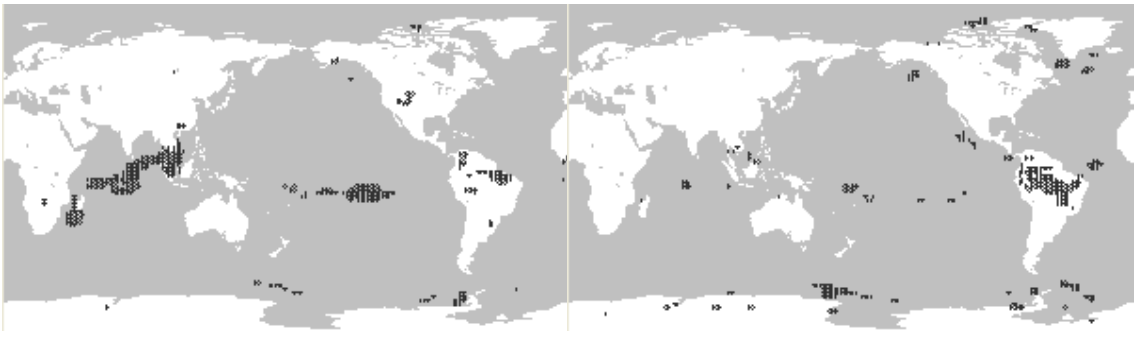


Figura 6 Representatividad espacial (izquierda) y serie temporal (derecha) en la neurona 42 (arriba), 16 (centro-arriba), 13 (centro), 60 (centro-abajo) y 33 (abajo) de la capa dos sobre anomalías relativas reconstruidas por medio de los primeros cinco armónicos de Fourier.



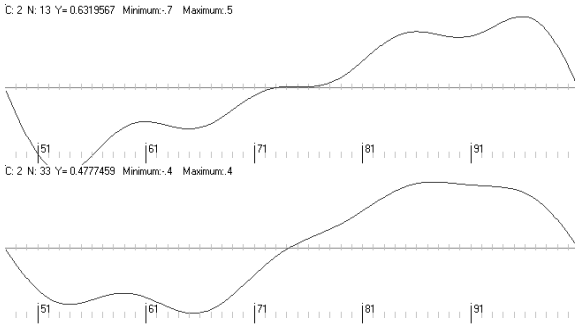


Figura 7 Representatividad espacial y serie temporal de la neurona 13 (izquierda) y neurona 33 (derecha) de la segunda capa de anomalías absolutas reconstruidas por medio de los armónicos 0 a 4 de Fourier.

La neurona 13 de la segunda capa (ver Fig. 7 izquierda) muestra que los procesos en el Pacífico central al sur del ecuador, en el Índico ecuatorial y Sudeste Asiático y en el Nordeste de Brasil y Colombia son similares presentando una tendencia de largo período acoplada con una fluctuación en la escala de 11 a 13 años mientras que en el Amazonas central (neurona 33, ver Fig. 7 derecha) se observa un cambio más intenso en torno a 1973 de un estado de bajas precipitaciones acoplado con un período de 11 a 13 años a otro estado de intensas lluvias en el que no se manifiesta claramente la composición con un ciclo de menor escala.

La neurona 4 de la cuarta capa se asocia con las neuronas 3 y la 5 de la tercera (ver Fig. 8). La neurona 5 muestra un máximo en 1950 y un largo período de mínimos hasta finales de la década de 1990. Puede verse que este patrón es predominante en el Pacífico occidental, Siberia oriental, Asia Central, el Ártico al norte de Siberia, Egipto, el este de Canadá, el Atlántico al norte del ecuador y frente a Guyana, el norte de Chile y parte de Bolivia y el Noroeste argentino, casi todo Chile con excepción del extremo sur y el centro de la Patagonia presentan este patrón. La neurona 3 muestra un máximo en 1960 y mínimos durante la década de 1980 y principios de la de 1990 con un cambio en el comportamiento en torno a fines de la década de 1960 y comienzos de la de 1970. El Pacífico central al norte y al sur de la línea ecuatorial, el Caribe, algunas regiones del sur patagónico, el oriente de China, el Índico al sur de África, Europa oriental, Oriente Medio, el Sahara y el Sahel presentan este patrón de largo período.

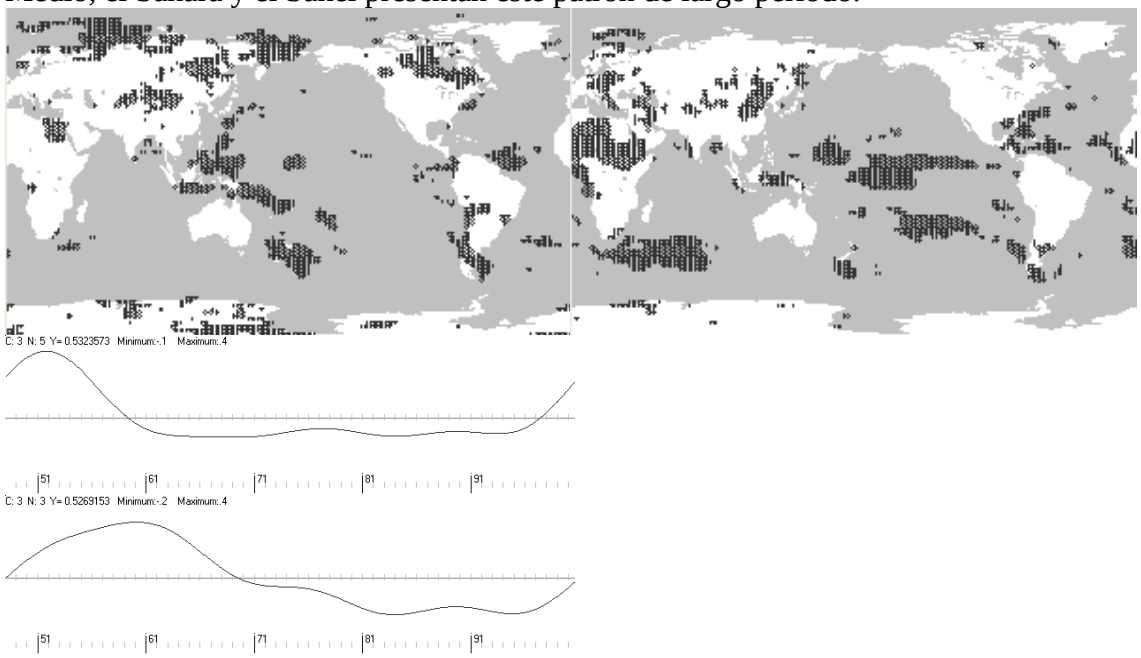


Figura 8. Representatividad espacial y serie temporal de la neurona 5 (izquierda) y neurona 3 (derecha) de la tercera capa de anomalías absolutas reconstruidas por medio de los armónicos 0 a 4 de Fourier.

La neurona 15 de la tercera capa (Ver Fig. 9) presenta el comportamiento más decididamente opuesto en relación con la neurona 2 de la misma capa. Puede verse que mientras la neurona 15 presenta un mínimo en 1964 y un máximo en 1990, la neurona 2 tiene un máximo en 1959 y un mínimo en 1983 y 1994. El período de cambio de fase se observa en ambas a comienzos de la década de 1970. La neurona 15 presenta un máximo de precipitación entre Madagascar y el Sudeste Asiático, en una banda muy estrecha del Pacífico central y sobre el Amazonas mientras que la neurona 2 tiene máxima relevancia en el Pacífico central tropical, en el Sahara, en el Índico al sur de África, en Europa oriental, Oriente Medio, Asia oriental y partes de Asia Central, el Caribe y algunas áreas de la Patagonia.

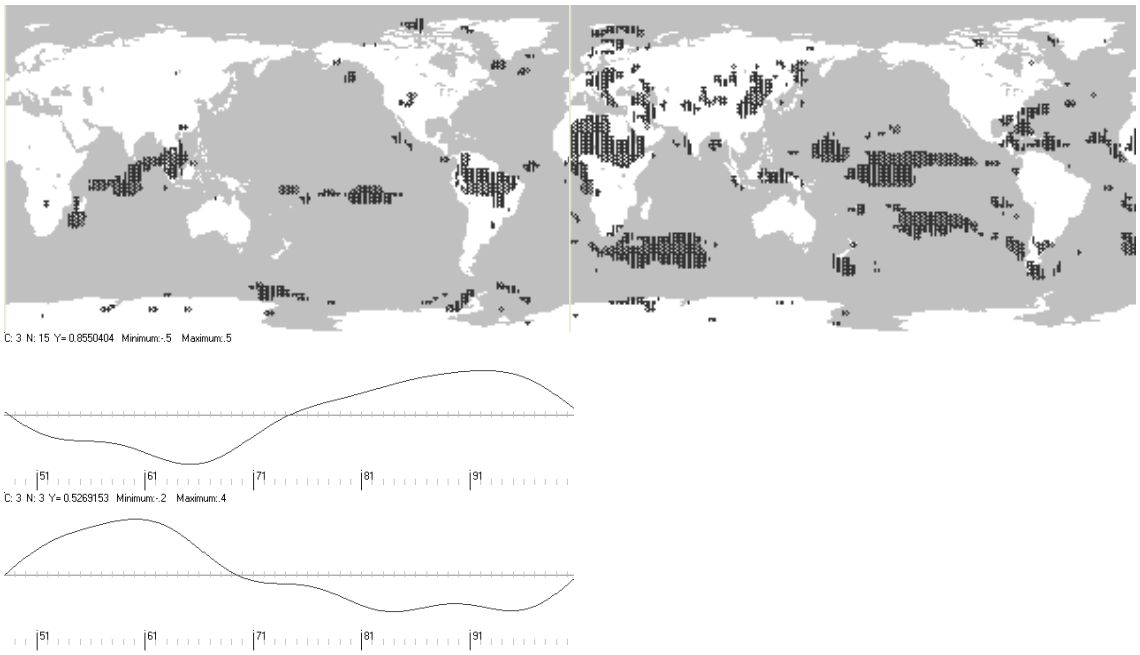


Figura 9. Representatividad espacial y serie temporal de la neurona 15 (izquierda) y neurona 2 (derecha) de la tercera capa de anomalías absolutas reconstruidas por medio de los armónicos 0 a 4 de Fourier.

La estructura del campo de anomalías da lugar a inferir un proceso espacial que se inicia en el Pacífico ecuatorial occidental y se expande luego como un incremento de precipitaciones sobre el Pacífico central tropical. Esta expansión hacia el este se manifiesta en oposición de fase en la neurona 2 conjuntamente con un aumento de las lluvias en el Caribe y en la Patagonia para alcanzar el África sahariana y desde el sur oceánico de África hasta el Índico sur y, aún más hacia el este, Asia Central y el este de China por un lado y Nueva Zelanda por otro.

En términos generales y a modo de síntesis, esta señal, que se iniciaría frente a las costas de China, parece desplazarse hacia el Pacífico central, luego hacia el Pacífico oriental y sur en latitudes medias alcanzando la Patagonia. El cambio de fase se expresaría en el Pacífico central al sur de la línea ecuatorial y el proceso se cerraría sobre Indonesia, el norte de Australia e Indochina. Podría asociársele una rotación negativa sobre el Pacífico. En el Atlántico el proceso se iniciaría frente e Guyana, se extendería al Caribe, luego al Atlántico frente a USA, al Atlántico norte y, de un modo poco claro, al Atlántico al sur de la línea ecuatorial para terminar el proceso en torno al ecuador. El

aspecto de la rotación parece ser negativo. En el Índico la señal se expresaría primero en el occidente frente a Indonesia, luego en torno a la India, más tarde frente a Madagascar, después en el Índico central y oriental sur ante a las costas occidentales de Australia cerrándose el proceso frente al noroeste australiano de modo que respondería a un ciclo positivo. El proceso continental sobre Asia parece iniciarse en Indochina, desplazarse hacia el sur de Asia Central para expandirse hasta latitudes medias y altas más tarde y finalmente retornar hacia la India. En la parte continental de Asia la rotación parece ser positiva. Tras la expresión en el Índico en torno a la India se manifestaría en África occidental al norte del ecuador, luego en África central al norte de la banda ecuatorial pero después parece trasladarse a África oriental al sur del ecuador, Madagascar, África occidental al sur del ecuador y finalmente en África del sur antes de desplazarse hacia el Índico. En África no es claro el sentido de rotación aunque parece ser negativa si bien puede estar muy condicionado por la influencia oceánica del Índico y el Atlántico. Sobre Sudamérica se iniciaría en el Altiplano de Bolivia para aparecer más tarde en el sur pampeano, luego en la Patagonia y, en fase opuesta con las anomalías en el Altiplano, en el sur de Brasil cerrándose el proceso sobre el Amazonas. El aspecto de la circulación sobre Sudamérica parece ser positivo.

CONCLUSIONES

Se observó conexiones entre las anomalías de muy largo período en el Pacífico central al norte de la línea ecuatorial y África central al norte del ecuador, donde hubo máximos de precipitación desde 1957 hasta mediados de la década de 1960 y mínimos desde 1973 y durante las décadas de 1980 y 1990. El régimen complementario se registró como dominante sobre el Pacífico central al sur de la línea ecuatorial, el norte de Australia, África al sur del ecuador, el Amazonas, el Atlántico ecuatorial, el Índico ecuatorial, Indochina, el Pacífico frente a México y el occidente de Indonesia con mínimos en las décadas de 1950 (Índico e Indochina) y 1960 (Amazonas), y máximos en las de 1980 (Amazonas) y de 1990 (Índico e Indonesia), proceso que se caracterizó por un aumento de lluvias a partir de la década de 1970 tras un máximo especialmente marcado en 1973. En el Pacífico occidental próximo a Indonesia, una secuencia de máximos persistieron hasta 1956, hubo mínimos durante la década de 1960 y un proceso estable o en leve ascenso desde finales de la década de 1960. El rápido descenso de precipitación en el Pacífico occidental sobre Indonesia en 1956 se registró más al este en 1963 y en torno a 1973 se observó en el Pacífico central. Se sugiere, a modo de hipótesis, que podría representar la transición de fase de una única oscilación en la escala de 70 años y que el cambio de largo período podría estar vinculado con un desplazamiento de la actividad en la convergencia intertropical durante la segunda mitad del siglo XX.

BIBLIOGRAFÍA

[1] Björn A Amos W Climate Zonation in Puerto Rico Based on Principal Components Analysis and an Artificial Neural Network (1999). *Journal of Climate,* Volume 12, Issue 4

[2] Chang P Ji L Li H. A decadal climate variation in the tropical Atlantic Ocean from thermodynamic air-sea interactions (1997). *Nature* 385, 516-518 doi:10.1038/385516a0
[3] Cogliati M Britos P García-Martínez R. Análisis de variables agrometeorológicas en noches de heladas utilizando mapas auto organizados y algoritmos de inducción (2006). *XI Reunión Argentina de Agrometeorología.* Septiembre, 6 a 8. 2006. Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales. Universidad Nacional de La Plata.
[4] Dijkstra HA Ghil M. Low-frecuency variability of the large-scale ocean circulation: A dynamical systems approach (2005). *Reviews of Geophysics*, 43, RG3002. Doi:10.1029/2002RG000122 (Septiembre de 2005).
[5] Fayos J Fayos C. Wind Data Mining by Kohonen Neural Networks (2007). *PLoS ONE*. 2007; 2(2): e210. Published online 2007 February 14. doi: 10.1371/journal.pone.0000210. PMCID: PMC1790699
[6] Hall M Minns A Ashrafuzzaman A. The application of data mining techniques for the regionalisation of hydrological variables (2002). *Hydrology and Earth System Sciences*, 6(4), 685–694
[7] Hinton GE McClelland JL. Learning Representation by Recirculation (1988). *American Institute of Physics*. Proc. IEEE Conf on Neural Information Processing Systems, Nov. 1988. pp. 358-366.
[8] Hoffmann JAJ. La distancia crítica para la interpolación de datos y la reducción de las estadísticas de precipitación al mismo período de la República Argentina (1970). *Meteorológica*, Vol. 1, Nº 2. pp. 55-64.
[9] Huggenberger DA. Tesis de Licenciatura en Ciencias de la Atmósfera: Análisis de las Correlaciones entre Índices de Baroclinicidad y la Precipitación en el Cono Sur de Sudamérica. (1994) Dirigida por Dr. Walter M. Vargas. Presentada el 7 de julio de 1994.
[10] Hurrell JW et al. Atlantic climate variability and predictability: A CLIVAR perspective (2006). *Journal of Climate* Volume 19 pp. 5100-5121.
[11] Kilpatrick D Williams R. Unsupervised classification of Antarctic satellite imagery using Kohonen self-organising feature map (1995). *Proceedings., IEEE International Conference on Neural Networks*. Volume 1, Issue , Nov/Dec 1995 Page(s):32 - 36 vol.1
[12] Kohonen T. Self Organizing Maps (2001) (3º ed.) USA, *Springer*. (Caps. 3, 4 y 5)
[13] Marshall J Kushnir Y Battisti D Chang P Czaja R Hurrell J McCartney M Saravanan M Visbeck M (2001). North Atlantic Climate Variability: Phenomena, Impacts and Mechanisms. *Review. Int. J. Climatol*. 21: 1863-1989.
[14] Michaelides S Pattichis C. Classification of rainfall distributions with the use of Artificial Neural Networks (1998) *Proceedings: 4th Panhellenic Conference on Meteorology, climatology and Atmospheric Physics*. Athens, Greece, September 1998. pp. 251-256.
[15] Murphy J Kattsov V Keenlyside N Kimot M Meehl G Mehta V Pohlmann H Scaife A Smith D. Towards Prediction of Decadal Climate Variability and Change (2009) *WCC-3 Decadal Climate Variability Session*. World Climate research Program. www.wcrp-climate.org/decadal/references/WCC3_Decadal_WhitePaper.pdf
[16] Ruiz-Barradas A Carton JA Nigam S. Structure of Interannual-to-Decadal Climate Variability in the Tropical Atlantic Sector (1999). *Journal of Climate* Volume 13 pp. 3285-3297.
[17] Schmittner A Appenzeller C Stocker TF. Enhanced Atlantic freshwater export during El Niño (2000). *Goephysical Research Letters*, Vol. 27, Nº. 8, Pp. 1163-1166.

[18] 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 (2006). *Geophysical Research Abstracts*, Vol. 8, 00429.
[19] Turiasa I González M Galindoa P. A competitive neural network approach for meteorological situation clustering (2006). *Atmospheric Environment*, Volume 40, Issue 3, January 2006, Pp. 532-541.
[20] Unal YS Ghil M. Interannual and interdecadal oscillation patterns in sea level (1995). *Climate Dynamics* 11:255-278.
[21] Vargas WM Huggenberger DA. Variability of River Streamflow as a Climatic Indicator (2000). *Poster en Sixth International Conference on Southern Hemisphere Meteorology and Oceanography* (Buenos Aires, 3 a 7 de abril de 2000)
[22] Vargas WM Huggenberger DA. Una clasificación de la lluvia en al cono sur de Sudamérica desde una perspectiva global por medio de un mapa auto organizado de redes neuronales (2009). *X Congreso Argentino de Meteorología y XIII Congreso Latinoamericano e Ibérico de Meteorología*. Buenos Aires, 5 al 9 de octubre de 2009. E-Book ISBN 978-987-1323-17-3 pp. 345-353 CNEA 2010

PRIMEROS DATOS DE EMISIÓN ACÚSTICA PRODUCIDOS EN LA ESTACIÓN DE MEDICIÓN DE CACHEUTA, PROVINCIA DE MENDOZA

López Pumarega M. I.[a], *Núñez N. M.*[a], *Gallucci A. R.*[b], *Ruzzante J. E.*[a, c, d], *Rosenberg S.*[d], *Bonelli Toro A.*[d], *Tornello M.* [b], *Frau C.*[b]

[a] *Dpto. ICES y Ondas Elásticas, Centro Atómico Constituyentes, Comisión Nacional de Energía Atómica, Buenos Aires, ARGENTINA.*
e-mail: lopezpum@cnea.gov.ar; nnunez@cnea.gov.ar
[b] *Centro Regional de Desarrollos Tecnológicos para la Construcción, Sismología e Ingeniería Sísmica, CeReDeTeC, Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Reg. Mendoza,Mendoza, ARGENTINA.*
argallucci@gmail.com , mtornell@frm.utn.edu.ar , cdfrau@frm.utn.edu.ar
[c] *Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Reg. Delta, prov. de Buenos Aires, ARGENTINA.*
[d] *Ingeniería de Sonido, Universidad Nacional de Tres de Febrero UNTREF, Buenos Aires, ARGENTINA*
abonellitoro@gmail.com; sbastian.rosenberg@gmail.com

RESUMEN

La Emisión Acústica (EA) es una técnica no destructiva que permite "escuchar" lo que sucede dentro de un material cuando se ejerce sobre él algún esfuerzo. Sirve para estudiar el estado de una estructura. En el caso de las rocas, con la EA se pueden inferir las variaciones en su campo de tensiones. La Estación de EA ubicada en Cacheuta, Mendoza, es la tercera en la Cordillera de los Andes, siendo la Estación Multiparamétrica Volcán Peteroa (Mendoza) y la de Cerro Blanco (San Juan) sus dos antecesoras. La Estación de Cacheuta está instalada en el Complejo del Hotel Termas de Cacheuta (Mendoza). En el año 2010, con colaboración del Centro Regional de Desarrollos Tecnológicos para la Construcción, Sismología e Ingeniería Sísmica, CeReDeTeC, de la Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Mendoza, la Regional Cuyo de la Comisión Nacional de Energía Atómica y la empresa concesionaria del Hotel, comenzó la selección del lugar más apropiado para su emplazamiento y el acondicionamiento de las instalaciones. En diciembre de 2012 se pudo instalar definitivamente el equipo de EA. Se emplean dos sensores piezoeléctricos resonantes, uno de 25 kHz y el otro de 150 kHz. En este trabajo se presenta el estudio y análisis de los primeros resultados correspondientes al período de medición de junio a septiembre de 2014.

INTRODUCCIÓN

La Emisión Acústica (EA) es un método de Ensayos No Destructivos, que permite "escuchar" lo que sucede dentro de un material cuando se ejerce sobre él algún esfuerzo. La fuente de energía de la EA proviene de la variación en el campo de tensiones dentro del material mismo, sin tensión no hay emisión; es por lo tanto una técnica dinámica. La EA es una técnica relativamente nueva, profundamente investigada por Joseph Kaiser en 1950. Sirve para estudiar el comportamiento o el estado de degradación de un componente de una máquina, de una estructura, tubería, recipiente, o una roca (Ruzzante J. E y otros, 1998; Ono K. 2008). Prácticamente, todos los

materiales pueden producir EA: aceros, vidrios, plásticos, materiales compuestos, maderas, hormigón, rocas, materiales biológicos, etc. (Vega M. y otros, 2007).

Al comienzo se empleó la EA como una técnica de Ensayos No Destructivos, luego fue aplicada con gran éxito para el estudio de los materiales. Como ya se dijo, la EA se produce por la propagación de las ondas elásticas generadas dentro del material al cambiar su campo interno de tensiones. Estas ondas se propagan y llegan a la superficie, produciendo pequeñísimas oscilaciones que pueden ser recogidas con "micrófonos" o transductores (generalmente piezoeléctricos) colocados en la superficie del mismo (Ono K., 2008). Se puede decir que la EA es una onda de "sonido", no audible, ya que queda fuera del rango de frecuencias perceptibles por el oído humano. Podemos "oír" el sonido de una fisura cuando se está propagando, podemos, incluso, "oír" el sonido asociado con la deformación plástica que se produce en la punta de una fisura aún antes de su propagación.

Los sensores de EA se colocan sobre la superficie del espécimen que se quiere analizar interponiendo una fina capa de alguna sustancia acoplante (por ejemplo grasa de vacío). El sensor transforma la energía mecánica en una salida eléctrica. Esta señal debe ser inmediatamente amplificada (ya que es del orden de los μV). En general se emplean preamplificadores de 40 dB, a no más de 50 cm del sensor. Luego la señal puede viajar por cables conductores coaxiales incluso a gran distancia, hasta llegar al equipo de EA. En la Fig. 1 se muestran esquemáticamente los principales componentes de un sistema de EA.

Habitualmente se incluyen como fuentes de EA, todas las fuentes de "sonido" dentro del

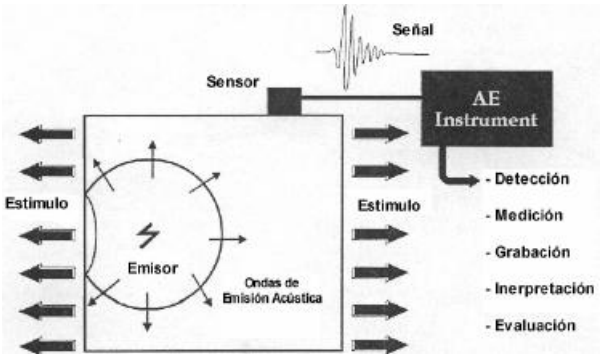


Figura 1. Esquema de un sistema de EA.

material, que están espacialmente localizadas y entran en el rango de frecuencias del ancho de banda normal de los detectores de EA, por encima de los 20 kHz, y por lo tanto son ultrasónicas. El rango de frecuencias abarcado por la EA es de aproximadamente de 20 kHz hasta 1 MHz. El límite inferior se elige para dejar afuera las vibraciones, y el superior se debe a que por encima de este valor es muy importante la atenuación. La forma de la onda de tensión elástica primitiva, cambia mucho durante la propagación a través del medio, y en general la señal emergente desde el sensor tiene muy pocas semejanzas con el pulso original. La mayoría de los sucesos son, estrictamente hablando, transientes, dando lugar a "explosiones" ("bursts") o "eventos" de energía ultrasónica, y aún aquellos que parecen continuos, como los producidos por el movimiento de dislocaciones o el tamizado de polvos, son mayoritariamente superposiciones de un gran número de sucesos transientes (explosiones), superpuestos.

La onda de EA rebota en las superficies del material, excitando repetidamente el sensor hasta que finalmente la señal decae. Este proceso de decaimiento es del orden de 100 μs en un sensor altamente amortiguado, o décimas de milisegundos en uno poco amortiguado, mucho más que el evento fuente, que usualmente finaliza en unos pocos microsegundos o menos. Es muy importante comprender que la forma de la onda que recibe el sensor de EA, es fundamentalmente el resultado de todo este complejo proceso de propagación (Ono K. y otro, 2008). Así, las señales de EA suelen ser muy complejas como se muestra en la Fig. 2.

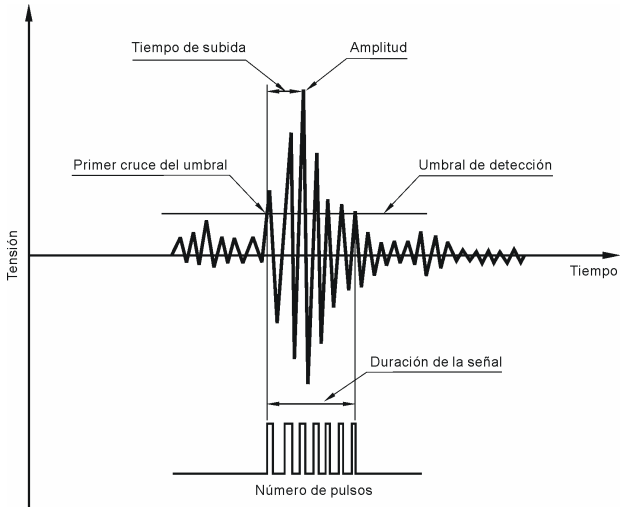


Figura 2. Típica señal de E y sus parámetros fundamentales.

La aplicación del estudio de las señales de EA en las actividades sísmicas o volcánicas, comenzó hace aproximadamente 20 años en distintas zonas de Europa (Paparo G. y otros, 2002; López Pumarega M. I. y otro, 2008) requiriendo largos períodos de toma de datos, del orden de varios años, para poder ser analizados.

Es bien conocido para los geólogos y geofísicos, que la Cordillera de los Andes en su zona central sufre las interacciones del proceso de subducción de la Placa de Nazca bajo la Placa Sudamericana, ubicada también en el conocido "Cinturón de Fuego" debido a su gran actividad volcánica.

Desde la Regional Buenos Aires del ICES ("International Centre for Earth Science") de la Comisión Nacional de Energía Atómica (CNEA), se propuso emplear la EA en el estudio de zonas sísmicas o volcánicas de Argentina. Así se crearon tres Estaciones de EA en la cordillera de Los Andes. La primera de ellas es la Estación Multiparamétrica Volcán Peteroa, en la provincia de Mendoza (Ruzzante J. E. y otros, 2005; López Pumarega M. I. y otros, 2012), en la Fig. 3 se muestra una fotografía. La segunda está ubicada en el Cerro Blanco de la provincia de San Juan y se muestra en la Fig. 4 (Hucailuk C. y otros, 2011 y 2012), y la última en las Termas Cacheuta en la provincia de Mendoza (Tornello M. E y otros, 2011; Frau C. y otros, 2012; Masera M., 2013).

En el presente trabajo se muestra el análisis preliminar de las primeras señales de EA producidas en la estación de EA de Termas Cacheuta.



Figura 3. Estación Multiparamétrica Volcán Peteroa, Malargüe, Mendoza.



Figura 4. Estación de EA en el Cerro Blanco, provincia de San Juan.

DESARROLLO

Durante el año 2010, desde el ICES Regional Buenos Aires, con la colaboración del "Centro Regional de Desarrollos Tecnológicos para la Construcción, Sismología e Ingeniería Sísmica", CeReDeTeC, de la Facultad Regional Mendoza de la Universidad Tecnológica Nacional (UTN) y la Regional Cuyo de la CNEA, se comenzó a buscar el lugar adecuado para la instalación de la Tercera Estación de EA en la zona andina de la provincia de Mendoza. El sitio más apropiado se seleccionó no sólo por sus características geológicas sino también por las facilidades tecnológicas y de comunicación que ofreciera el lugar. Así, con la cooperación del Hotel Termas

Cacheuta, se definió el lugar, ubicado a 20 km hacia el oeste de la ciudad de Mendoza, en la posición 33° 01’ 03" Latitud Sur y 69º 06' 54” Longitud Oeste (ver Fig. 5). Una vez elegida la ubicación, se comenzó con el acondicionamiento de las instalaciones facilitadas, que distan unos 300 m de las oficinas del Hotel. Esa construcción, muchos años antes habían sido parte del lavadero de un antiguo Hotel que fuera destruido por un aluvión. Una de las paredes del recinto la conforma un afloramiento rocoso de granito, allí se decidió colocar los sensores de EA. El exterior del recinto, al lado del río Mendoza puede verse en la Fig. 6.

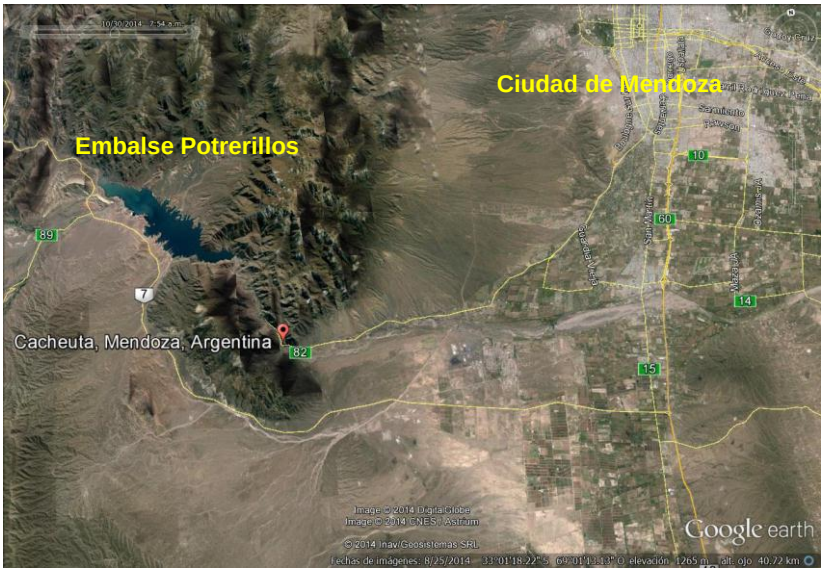


Figura 5. Imagen satelital de la zona del área de las Termas de Cacheuta.

En el caso de las rocas, el sensor de EA se coloca sobre una barra de vidrio (para evitar las interferencias electromagnéticas) de unos 60 cm de longitud, que actúa como una guía de ondas, y es empotrada en el promontorio rocoso. En general se emplean dos sensores piezoeléctricos resonantes con distinto rango de trabajo, uno de 25 kHz y el otro de 150 kHz ubicados en sendas barras.

En la Fig. 7 se muestran los dos sensores sobre las barras de vidrio sujetos con cintas de goma cortadas de una cámara de auto. En la Fig. 8 se observa todo el sistema de EA dentro del recinto.



Figura 6. Fotografía del exterior del recinto donde fue instalado el sistema de EA, Cacheuta, prov. Mendoza.

En el caso concreto de la microsísmica, dado que lo que se quiere analizar es cómo varía el nivel de actividad acústica de la roca a lo largo del tiempo, no se necesita registrar cada una de las señales de EA sino que se almacena el valor cuadrático medio (RMS) de las señales de EA, cada 30 s. De esta manera se puede analizar la evolución de la EA durante largos períodos de tiempo, optimizando la cantidad de datos a almacenar para correlacionarlos con otras variables.

Las variaciones de tensiones en el promontorio rocoso que ocasionan la EA, pueden se producidas por gradientes de temperatura, deformaciones provocadas por las mareas terrestres, presiones internas, movimientos sísmicos, procesos de erupción volcánica, etc.

Recién en diciembre de 2012, se pudo instalar definitivamente el equipo de EA. Al principio, la capacidad de almacenamiento del sistema, obligaba a que una persona cada semana, fuera a descargar los datos en forma presencial. Debido a las dificultades ocasionadas, se decidió instalar un sistema de conexión y envío de datos por Internet, para poder recibir la información en Buenos Aires. Consecuentemente, todo el sistema completo debió ser nuevamente optimizado.



Figura7. Fotografías de los dos sensores de EA sobre sendas barras de vidrio empotradas, Cacheuta, prov. Mendoza.

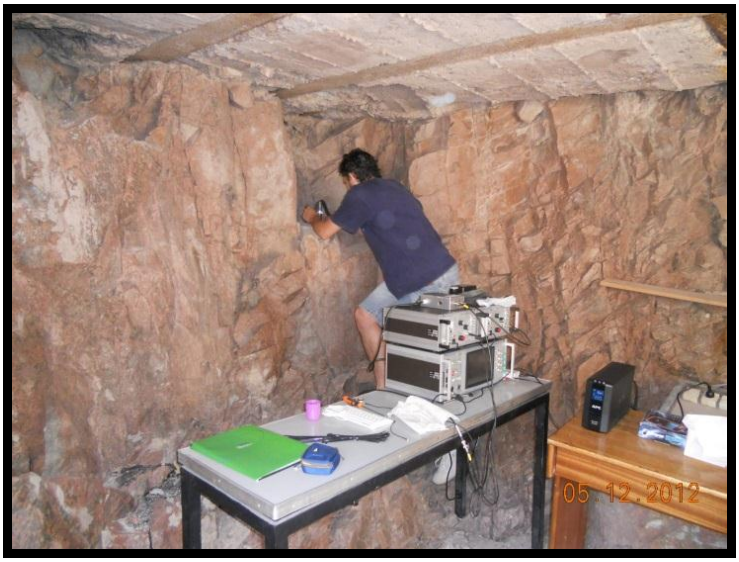


Figura 8. Ajuste de los sensores y el sistema de EA, Cacheuta, prov. Mendoza.

Debido a las causas anteriores, a errores en las comunicaciones por internet, y a que en agosto de 2014 se produjo el robo de la antena de WiFi que conectaba el sistema de EA con el centro operativo del Hotel, sólo se dispone de información, desde mayo a agosto de 2014, con un conjunto de 9 archivos parciales, de 48 días en total, y períodos de continuidad de información no mayores a 4 días.

En la siguiente lista se indican las fechas y períodos con la información de EA proveniente de la Estación de EA Cacheuta, que es considerada en este trabajo:

- 29 de mayo al 2 de junio
- 2 al 4 de junio
- 6 al 10 de junio
- 30 de junio al 3 de julio

- 7 al 10 de julio
- 10 al 14 de julio
- 14 al 15 de julio
- 15 al 17 de julio
- 17 al 18 de julio
- 18 al 23 de julio
- 23 al 25 de julio
- 25 al 29 de julio
- 7 al 11 de agosto
- 15 de agosto

Los datos fueron analizados en varias etapas utilizándose una serie de métodos. En primer lugar, se graficaron los resultados en el dominio del tiempo, con el objetivo de descubrir alguna periodicidad visible a simple vista, esto fue absolutamente imposible a gran escala debido a la discontinuidad de los datos. Para los archivos con datos continuos se graficaron los valores del RMS de la EA, de cada canal, en función del número de orden de cada dato, teniendo en cuenta que entre dos valores consecutivos siempre hay 30 s y que para cada archivo se conoce su hora de inicio. A modo de ejemplo, en la Fig. 9 se puede apreciar la evolución de la EA para los dos canales en un lapso continuo de 4,8 días (del 18/7/14 al 23/7/14). El canal 0 corresponde al sensor de baja frecuencia (25 kHz) y el canal 1 al sensor de alta frecuencia (150 kHz). Para otros estudios se buscó salvar la discontinuidad de datos agregando ceros en las partes faltantes, para poder tratarlos matemáticamente. Subsiguientemente, se procedió a filtrar las señales utilizando un filtro digital Butterworth (0 mHz a 0,2 mHz) sin retraso de fase, de orden 9 con una frecuencia de corte 0.042 Hz (O'Neil P. 2007).

Se pudo observar una periodicidad de aproximadamente 1 día y también oscilaciones de pequeña amplitud con períodos del orden de 1,8 hs, tal como se ve en la Fig. 10 para el canal 0 y en la Fig. 11 para el canal 1. Cabe aclarar que este filtro fue utilizado sólo en esta instancia, no posteriormente. Para poder constatar este hallazgo, se realizó la FFT (Transformada Rápida de Fourier) de la señal temporal, con el objetivo de visualizar algún componente frecuencial que se destacara particularmente. Debido a la gran cantidad de ruido, la FFT no proporcionó nuevos resultados, pero sí confirmó la periodicidad, de aproximadamente un día, obtenida a partir de los gráficos temporales.

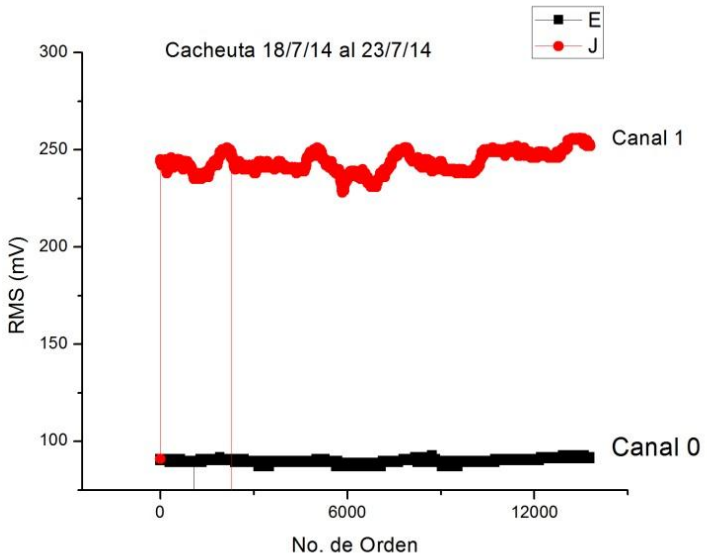


Figura 9. Evolución temporal del valor RMS de EA, aproximadamente 4,8 días (18/7/14 al 23/7/14, Canal 0: 25kHz y Canal 1: 150 kHz).

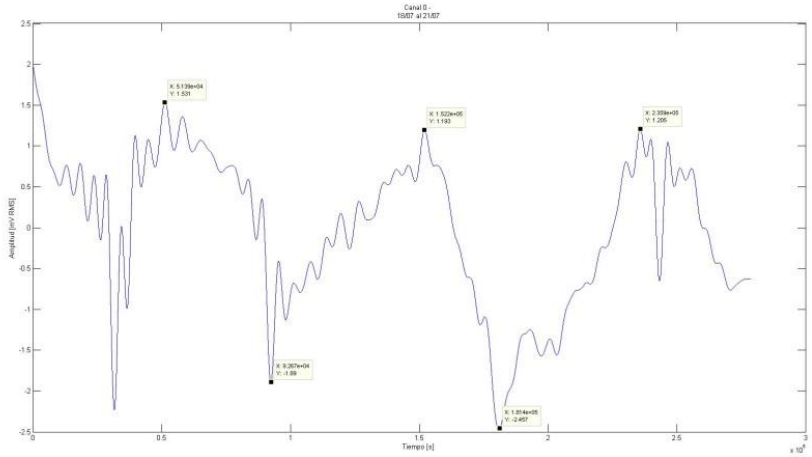


Figura 10. Señal filtrada del RMS de EA para el Canal 0 (25 kHz).

Posteriormente, se aplicó la función de autocorrelación para poder ver en el dominio temporal la información entregada por la FFT en el dominio frecuencial (Anstey N. A., 1964). En las Fig. 12 y 13 se observa el ejemplo de la función correlación aplicada sobre los datos del canal 0 y el canal 1 respectivamente. Éste último método fue el que resultó más claro para obtener la periodicidad de las oscilaciones en las señales de EA. Así otra vez se obtuvo una periodicidad del orden de 1 día. Los resultados mostrados aquí se repitieron en el análisis de los otros archivos con duración mayor que 1 día. Resta aún, cuando se disponga de largos períodos de datos, poder correlacionar estas variaciones obtenidas en los valores RMS de la EA con las posibles causas que las hayan originado.

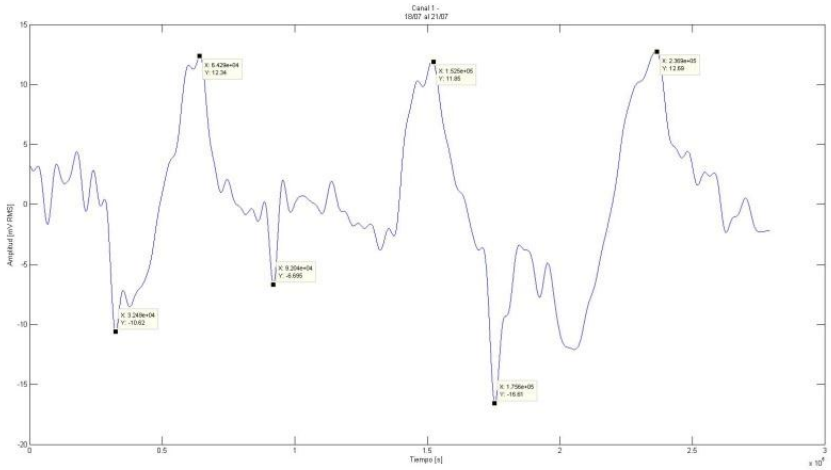


Figura 11. Señal filtrada del RMS de EA para el Canal 1 (150 kHz).

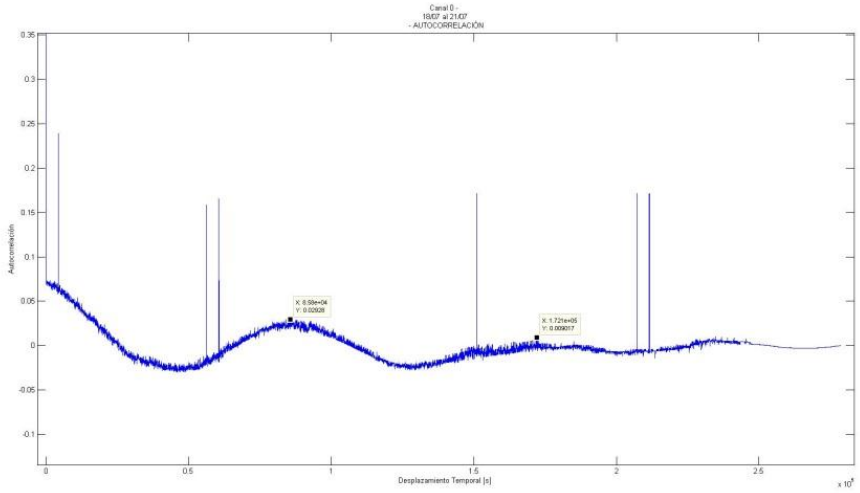


Figura 12. Función de autocorrelación para el Canal 0 (25 kHz).

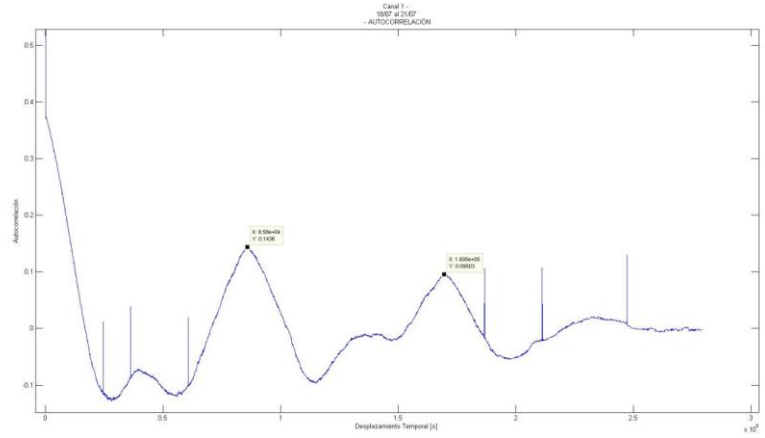


Figura 13. Función de autocorrelación para el Canal 1 (150 kHz).

CONCLUSIONES

En el caso de la Estación de EA Cacheuta, por primera vez se pudo analizar un total de aproximadamente 48 días de datos de EA, no continuos, con una duración parcial máxima de casi 5 días.

Los resultados de la serie temporal filtrada (filtro pasa bajos) permitieron ver intervalos regulares entre máximos consecutivos, de aproximadamente 1 día. Se realizó la FFT de esos datos pero no se obtuvo ningún otro componente frecuencial que se destacara particularmente. Al aplicar la función de autocorrelación se obtuvo la misma distancia entre máximos. Todos estos datos se repitieron en todos los intervalos de datos estudiados.

En esta etapa de la investigación, con estos períodos limitados de datos continuos, no se puede analizar la relación de los valores de la EA medidos y su correspondencia con los fenómenos físicos que pueden estar originándola, tales como variaciones térmicas (día y noche), mareas terrestres (con períodos ~1 día), actividad sísmica, períodos de resonancia de la tierra ante grandes terremotos, etc. Por todo lo expuesto se reafirma la necesidad de continuar con la toma y análisis de datos por largos períodos del orden de varios años.

REFERENCIAS

Anstey N.A., *Correlation Techniques- A review*, Geophysical Prospecting, Vol. 12, No 4, pp. 355-382. 1964.

Frau C., Gallucci A., Tornello M., Ruzzante J., López Pumarega M. I., *"Fallamiento y Características Geológicas en la Región Próxima a la Estación de Emisión Acústica de la Localidad de Cacheuta, Mendoza",* Octavo Encuentro del ICES, E-ICES 8, Mar del Plata, Argentina, 30 octubre-2 noviembre 2012.

Hucailuk C., Armeite M., D. Filipussi, López Pumarega M. I., Ruzzante J. E., Sabio Montero M. A., Veca B, *Relación Entre Sismos y Emisión Acústica en Cerro Blanco, Argentina,* "Actas 7º Encuentro del International Centre for Earth Sciences, E-ICES 7", ISBN: 978-987-1323-27-2, pág. 173-180, 31 de octubre-3 de noviembre de 2011.

Hucailuk Cynthia, Armeite María, Filipussi Dino, López Pumarega María Isabel, Ruzzante José Evaristo, Veca Bernardo, Sabio Montero Miguel Angel, *Acoustic Emission in Cerro Blanco, Argentina*, e-Journal of NDT (eJNDT), ISSN 1435-4934 2012.

López Pumarega Isabel, Hucailuk Cynthia, Gregori Giovanni, Paparo Gabriele, Ruzzante José, Núñez Nicolás, Ventrice Giuliano, Rafanelli Claudio, *Acoustic Emission on the Peteroa Volcano (2009-2011),* e-Journal of NDT (eJNDT), ISSN 1435-4934, 2012.

López Pumarega M. I., Ruzzante J. E., *Microseismic, Learning how to listen to the Earth...,* Acoustic Emission, Vol. 1, Chapter 2, pp. 37-68, Editors: J. E. Ruzzante, M.I. López Pumarega, ISBN 978-987-05-4116-5, CNEA, March, 2008

Masera Maximiliano, *Progetto: Stazione di emissione acustica per il monitoraggio sismico nella frazione di Cacheuta, Comune di Luján, provincia di Mendoza,* Primer Premio: "Settimana Della Lingua Italiana Nel Mondo, Ricerca, Scoperta, Innovazione: L' Italia Dei Saperi", Responsable del Proyecto "Estación de Emisión Acústica Cacheuta, Mendoza": M. I. López Pumarega, Mendoza, 24 de octubre, 2013.

O'Neil Peter, *Advanced Engineering Mathematics*, Séptima Edición, pp. 427-501. CENGAGE Learning. Stamford, USA. 2007

Ono K., *Acoustic Emission Monitoring of Engineering Structures*, Acoustic Emission, Vol. 1, Microseismic, Learning how to listen to the Earth..., Chapter 1, pp. 9-36, Editors: J. E. Ruzzante, M.I. López Pumarega, ISBN 978-987-05-4116-5, CNEA, March, 2008.

Ono Kanji, Cho Hideo, *Experimental Transfer Functions of Practical Acoustic Emission Sensors,* EWGAE 2008 28-European Conf. AE Testing, 25 ©2008 EWGAE, Cracow UT, pp-25-30, 2008.

Paparo Gabriele, Gregori, Giovanni P., Coppa Ugo, De Ritis Riccardo, Taloni Alberto, *Acoustic Emission (AE) as a diagnostic tool in geophysics*, Annals of Geophysics, vol. 45, N. 2, pp. 401-416, April 2002.

Ruzzante J. E., López Pumarega, M. I., *Ondas Elásticas, Sensores y Emisión Acústica*, Instituto de Tecnología Prof. Jorge Sabato, Universidad Nacional de General San Martín, CNEA, 1998.

Ruzzante J., Paparo G., Piotrkowski R., Armeite M, Gregori G., López Pumarega M. I., *Proyecto Peteroa, primera estación de emisión acústica en un volcán de los Andes*, Revista Española de Física, Vol. 1 (19), No. 1, pág. 12-18, www.ucm.es/info/rsef/revistaibfisica/peteroa.pdf, 2005.

Tornello M. E., Frau C. D., Gallucci A. R., Ruzzante J., López Pumarega M. I., *Estación de Emisión Acústica para el Monitoreo Sísmico en la Localidad de Cacheuta, Mendoza*", "Acta de Resúmenes, 7º Encuentro del International Centre for Earth Sciences, E-ICES 7", Malargüe, Mendoza, Argentina, ISBN: 978-987-1323-24-1, 31 de octubre-3 de noviembre, 2011.

Vega M., Aguilera A., Méausoone, P.J., *Esfuerzos de corte y rugosidad superficial en el fresado de pino radiata y su relación con emisión acústica*, Maderas, Ciencia y Tecnología, vol. 9(2), ISSN online 0718-221X, pp. 161-169, 2007.

ENCUENTROS INTERNACIONALES ICES: 10 E-ICES…

López Pumarega, M. I [a], *Ruzzante, J. E* .[a, b]

[a] *Dpto. ICES y Ondas Elásticas, Centro Atómico Constituyentes, Comisión Nacional de Energía Atómica, Buenos Aires, ARGENTINA*
[b] *Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Delta, Buenos Aires, ARGENTINA*

lopezpum@cnea.gov.ar ruzzante@cnea.gov.ar

RESUMEN

El "International Centre for Earth Sciences, ICES", creado formalmente a fines del año 2007 entre la Comisión Nacional de Energía Atómica y la Universidad Nacional de Cuyo, lleva 10 años consecutivos organizando sus Encuentros Internacionales, llamados E-ICES. El primer Encuentro, E-ICES 1, se llevó a cabo en Malargüe, provincia de Mendoza, en el año 2005, incluso antes de la formalización escrita del ICES. En cada uno de ellos se reúnen, en promedio a lo largo de todos estos años, más de 100 investigadores, técnicos y estudiantes, relacionados con las diferentes temáticas de las Ciencias de la Tierra. Una de las características fundacionales del ICES es la multidisciplinaridad, fomentando la participación en un mismo ámbito de encuentro, de los especialistas de diferentes áreas del conocimiento, para que puedan conocerse, escucharse y complementarse en sus diferentes investigaciones. En cada Encuentro, durante un promedio de 4 días consecutivos, se defienden en forma oral o de poster, los avances en las diversas investigaciones realizadas. Para fomentar la participación de la juventud, a partir del E-ICES 4 (2008), se realiza anualmente, el "Concursos de Jóvenes Investigadores", donde gracias a la colaboración de diversas instituciones, se otorga un Primero y un Segundo Premios a los Investigadores de hasta 35 años, que cumplen con un Reglamento creado a tal efecto. También durante el desarrollo de los E-ICES, se realizan algunas actividades especiales con las comunidades locales, de modo de dar a conocer en la población las investigaciones de los científicos. Además durante los E-ICES se realiza la presentación formal de alguno de los Cuadernillos ICES, donde en forma más extensa se amplían las investigaciones más destacadas del año anterior. El objetivo de este trabajo es presentar un Resumen de las actividades llevadas adelante en estos 10 años consecutivos de los Encuentros E-ICES, concluyéndose que responden ampliamente a las pautas planteadas durante la creación del ICES.

INTRODUCCIÓN

El "Centro Internacional de Ciencias de la Tierra", ICES, por sus siglas del inglés: "International Centre for Earth Sciences", tiene por objetivos fundacionales la promoción y el estudio interdisciplinario de todas las ciencias de la tierra, impulsando su aplicación concreta en las comunidades locales donde se desarrollen los diversos proyectos de investigación.

Todo había comenzado en el año 2000, con un grupo de investigadores de la Comisión Nacional de Energía Atómica de Argentina, que trabajan en Emisión Acústica y su relación con colegas italianos que la empleaban para monitorear volcanes. Sus antecedentes más remotos se remontan a la "Jornada Sobre Emisión Acústica en Estructuras Geofísicas y de Ingeniería Civil", realizada con el apoyo de la Comisión Nacional de Energía Atómica (CNEA), en el Instituto Nacional de Prevención Sísmica

INPRES, el 5 de diciembre de 2003 en San Juan, Argentina. Luego vinieron las "Jornadas: "Emisión Acústica y Estructuras Geofísicas", desarrolladas entre el 19 y el 21 de diciembre de 2004 en Malargüe, Mendoza, Argentina. En este último ámbito, el ICES comenzó a figurar en papeles formales, con la firma del **Acta Acuerdo**, entre el intendente local, Prof. Raúl Rodríguez y el representante del "Consilio Nazionale delle Ricerche, CNR", de Italia, Ing. Gabriele Paparo. En noviembre de 2006, entre el ICES Nodo Italia, la entonces Secretaría de Ciencia y Técnica SECyT de Argentina y la CNEA, se firmó una **Carta de Intención** para la creación del ICES Nodo Argentina, disponiéndose la adjudicación de fondos especiales. A fines del 2007 se firmó el **Convenio** entre la **CNEA** y la Universidad Nacional de Cuyo (**UNCuyo**) para la creación del **Programa Interinstitucional ICES**. En abril de 2008 se eligieron sus primeras autoridades: el Dr. J. E. Ruzzante como **Director Científico**, y la Dra. M. I. López Pumarega como **Secretaria Ejecutiva**. Cumpliendo con las disposiciones establecidas entre ambas instituciones, se creó también el **Consejo de Representantes,** hoy integrado por: el Dr. Alfredo Boselli y el Ing. Julio Nicolai como miembros de la CNEA, el Dr. Manuel Tovar García, el Mag. Luis Lenzano y el Dr. Juan C. Leiva de la UNCuyo. Desde julio de 2013 las nuevas autoridades del ICES son el Dr. Darío N. Torres como su Director Científico y la Abg. Mónica Llansó como su Secretaria Ejecutiva.

El ICES abarca 4 áreas de trabajo:

- Ambiente y Clima,
- Recursos y Prospecciones Geofísicas,
- Riesgo Ambiental y Territorial,
- Antropología Ambiental.

El Nodo ICES Argentina tiene tres Regionales: ICES Buenos Aires (CNEA), ICES Malargüe, Mendoza y el ICES Mendoza (UNCuyo), en Mendoza capital.

Fueron creados varios Nodos internacionales del ICES: Nodo Italia, Nodo Brasil, Nodo Uruguay, Nodo Colombia y Nodo Bolivia, y varios Laboratorios Asociados, como por ejemplo la Comisión Nacional de Actividades Espaciales, CONAE.

Este Trabajo pretende ser una apretada síntesis de las principales actividades desarrolladas por el ICES, desde su creación, hasta la primera mitad del año 2013. Entre las más importantes tareas llevadas a cabo figuran los Proyectos de Investigación con los cuales ha colaborado; su participación en diferentes eventos relacionados con las comunidades locales; las publicaciones propias de algunas de sus investigaciones y la organización anual de sus Encuentros Internacionales (E-ICES), de los que este año se realiza la décima edición.

Proyectos de Investigación

A continuación se enumeran los temas de los principales **Proyectos de Investigación**, muchos de ellos internacionales, llevados adelante con el apoyo del ICES:

Implementación de la Estación Multiparamétrica en la base del volcán Peteroa, Malargüe, Mendoza: Emisión Acústica (EA), medición de gases en aguas termales, medición de temperaturas, estación meteorológica, desarrollo de sismógrafos, detectores de gases, detectores de radón, conexión de internet satelital (ver Fig. 1). Se implementó la primera cámara de video de vigilancia volcánica del país. Durante la erupción del volcán Peteroa de septiembre de 2010, se realizaron vuelos de reconocimiento con el

objeto de monitorear su actividad. En este Proyecto se cuenta con la colaboración de las siguientes instituciones: Municipalidad de Malargüe, Centro Científico Tecnológico CONICET Mendoza (IANIGLA), Mendoza; UNCuyo; Grupo Los Azufres Escuadron 29, Gendarmería Nacional, Malargüe, Mendoza; Dpto. Instrumentación y Control, Centro Atómico Ezeiza CAE, CNEA; Servicio Meteorológico Nacional; Grupo de Micro y Nano Tecnología, Centro Atómico Constituyentes CAC, CNEA; Secretaría de Medio Ambiente, Gobierno de Mendoza.

Variabilidad y Cambio Climático en el sur del Cono Sur, Antártida y océanos adyacentes. Impactos en actividades productivas regionales.

Impacto humano en el Sur de Mendoza durante el holoceno tardío, cambios en las estrategias del uso de los recursos.

Variabilidad climática en la producción de papa semilla y viticultura, en la zona Malargüe; situación del carbunclo rural.

Vulnerabilidad territorial frente al riesgo volcánico del Complejo Planchón-Peteroa en Malargüe; riesgos volcánicos e hidrológicos y ordenamiento territorial en la Cuenca Alta del Río Grande, Mendoza.

Ecología de altura, cambios climáticos en la biodiversidad e impacto sobre la ganadería trashumante.

Colaboración con la Municipalidad de Malargüe en el "Proyecto Chicharrita";

Investigación aplicada a desarrollos de la energía geotérmica (Cuaderno ICES 4).

Biorremediación: uso de plantas de girasol en la captación de metales pesados y radioisótopos. Con respecto a este tema, la CNEA presentó ante el Instituto Nacional de Propiedad Intelectual, INPI, la Solicitud de Patente: "Sistema Biorremediador para Suelos y/o Aguas Contaminadas", Nº de Expediente P-2013-01-00620, Inventores: Adalgisa Scotti por la CNEA, y por la Universidad de Buenos Aires: Alicia Margarita Godeas y Vanesa Silvani.

Proyecto Dendroclima: estudio de la variabilidad climática por los anillos de crecimiento de los árboles.

Implementación de la Estación de Emisión Acústica Cerro Blanco, San Juan, en colaboración con el Instituto de Materiales y Suelos, Universidad Nacional de San Juan.

Implementación de la Estaciones de Emisión Acústica Cacheuta, Mendoza, en



Figura 1. Estación Multiparamétrica Volcán Peteroa, Malargüe, Mendoza, abril 2014.

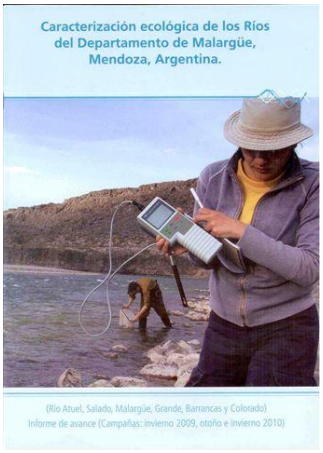


Figura 2. Caracterización ecológica de los ríos del Dpto. Malargüe, Mendoza.

colaboración con el Centro Regional de Desarrollos Tecnológicos para la Construcción, Sismología e Ingeniería Sísmica, CeReDeTeC, Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Reg. Mendoza, Mendoza.

Censo forestal en la ciudad de Malargüe.

Estudio del Escenario de Riesgo de Vientos, Dpto. Malargüe;

Caracterización ecológica de los ríos del Departamento de Malargüe, macrozonificación y microzonificación de 5 cuencas (ver Fig. 2).

Participación en la Agencia de Cambio Climático;

Estudio de la infección por Fasciola Hepática en animales domésticos y seres humanos;

Exploración geofísica para aprovechamiento geotérmico en el valle de Los Molles, sur de Mendoza (Cuaderno ICES 4);

Empleo de una plataforma aerotransportada para prospección del mineral de uranio;

Creación del Grupo de Vigilancia del volcán Peteroa, con el objetivo de crear en Malargüe el Centro de Monitoreo Continuo del volcán Peteroa, para su seguimiento en tiempo real;

Estudio de aguas termales en diferentes zonas del Volcán Peteroa;

Campañas de estudio a los cráteres del volcán Peteroa, con imágenes térmicas;

"Proyecto MalaRRgüe": estudio de la sub superficie de la región del Dpto. Malargüe, Mendoza, en colaboración con la Universidad de TU Delft, Holanda y la Secretaría de Articulación Científica y Tecnológica, Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva, proyecto en el cual se instalaron y monitorizaron durante un año, 40 sismógrafos;

Investigación de Microorganismos extremófilos;

Estudio de líquenes como bioindicadores de contaminación ambiental;

Estudio dendrocronológico de especie arbustiva nativa del departamento de Malargüe para la detección de metales pesados;

Riesgo por caída de tefras en la cuenca alta y media del Río Grande y su impacto en el modelo ganadero de la región. Aportes al Ordenamiento Territorial, Malargüe, Mendoza;

Organización tecnológica y biogeografía humana en La Payunia, Provincia de Mendoza;

Estudio del crecimiento de las colonias de líquenes las zonas del Volcán Peteroa y La Payunia, Malargüe;

Proyecto GEMAS: Gestión de Emergencias Mediante Análisis Satelital, Plan de Gestión de Emergencias Mediante Análisis Satelital**;**

Proyecto mapa de riesgo de San Rafael, Mendoza;

Proyecto Palinología del Cuaternario tardío en el sur de Mendoza: las vegas de cordillera como archivo paleoambiental y paleoclimático;

Proyecto Atlas de Peligros de la provincia de Mendoza;

Proyecto Talleres Comunitarios para la Prevención de Riesgo. Mendoza;

Evaluación de perfiles geoquímicos indicadores de envenenamiento causado por cenizas volcánicas;

Participación activa del ICES en el Centro de Operaciones de Emergencia Provincial (COEP), Mendoza;
Por iniciativa del ICES, en colaboración con la Universidad Nacional de Chilecito UNdeC, se comenzó el desarrollo de un Laboratorio de Altura (LA) a 5100 msnm,



Figura 3. Reunión con la Presidenta de CNEA, Lic. Norma Boero, para despedir al Ing. G. Paparo al finalizar su gestión en Argentina, 14 de marzo de 2014.



Figura 4. III Jornadas sobre Gestión de Riesgo de Catástrofes", San Fernando del Valle de Catamarca, 3-4 octubre de 2011.

localizado en el Cerro Lampallao del Sistema de Famatina, en la provincia de La Rioja. Actualmente, este Proyecto está siendo gestionado y dirigido por la UNdeC.



Figura 5. Simulacro de sismo durante el E-ICES 7, escuela primaria de Malargüe, Mendoza, 1 de noviembre de 2011.



Figura 6. Feria de Ciencias, escuela secundaria de Malargüe, Mendoza, abril de 2010.

Muchos de los Proyectos del ICES, han contado con la colaboración de la Embajada de Italia en Argentina, a través de la actuación de su Agregado Científico Ing. Gabriele Paparo, quien finalizó su gestión en el año 2014 (ver Fig. 3).

Promoción de Diversas Actividades

Durante estos diez años de actividad, desde el ICES, se ha fomentado el desarrollo local de diversos componentes electrónicos (algunos novedosos), desde equipos de

comunicación remota hasta medidores de temperatura, detectores de gases y medidores de radón, equipos de EA, varios de ellos en colaboración con otros Grupos de CNEA.

EL ICES fomentó y colaboró en la realización las siguientes actividades llevadas adelante en diferentes comunidades, tal como se detalla a continuación.

- "Primeras Jornadas Internacionales sobre Gestión de Riesgo de Desastres", en colaboración con Control de Bomberos y Coordinación de ONGs, Ministerio del Interior y Defensa Civil, Mendoza Capital, 21-22 de mayo de 2009; como resultado se publicó la "Carta de Mendoza sobre la Gestión de Riesgo de Desastres".
- Charlas a la comunidad: "Riesgo Sísmico"; "Guardianes del Conocimiento Científico Biológico" y "Las Colecciones y Museos de Ciencias Naturales", Malargüe, 13 de marzo y 12 de abril de 2010;
- "Curso Básico sobre Colecciones Científicas y Expositivas de Biodiversidad, Cuidado, Manejo y Conservación", Malargüe, 13-15 de abril, 2010.
- "Segundas Jornadas Internacionales sobre Gestión de Riesgo de Desastres, Prevención y Acción", en colaboración con Control de Bomberos y Coordinación de ONGs, Ministerio del Interior y Defensa Civil, Mendoza capital, 18-19 de agosto, 2010.
- "III Jornadas sobre Gestión de Riesgo de Catástrofes", en colaboración con Control de Bomberos y Coordinación de ONGs, Ministerio del Interior y Defensa Civil de Catamarca, San Fernando del Valle de Catamarca, Catamarca, 3-4 de octubre de 2011 (ver Fig. 4).
- "Simulacro de Sismo" en una Escuela Primaria de Malargüe, durante el E-ICES 7, Mendoza, 1 de noviembre de 2011 (ver Fig. 5).
- Colaboración en la presentación de antecedentes ante la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura UNESCO: "La Payunia, Malargüe", para su Declaración como "Patrimonio de la Humanidad", 2012;
- Realización de dos "Olimpíadas Ambientales", con adjudicación de Premios, en Escuelas Secundarias de Malargüe, 2011, 2012.
- Varias Ferias de Ciencias en distintas escuelas primarias y secundarias del Dpto. Malargüe, Mendoza (ver Fig. 6).

Divulgación de sus Acciones

El ICES, publicó varios pequeños libros, llamados "Cuadernos ICES", así también como diversos folletos, las principales conclusiones de varias reuniones sobre Prevención Sísmica, algunos videos sobre distintos temas y todas las Actas de Resúmenes y de los Trabajos Completos de cada uno de los Encuentros E-ICES.

A continuación se detallan los principales títulos.

- "Cuadernos ICES 6: Monitoreo termo-geomorfológico de la cumbre del Complejo Volcánico Peteroa, Mendoza, Argentina", Darío Trombotto Liaudat, Pablo Penas, Jan Henrik Blöthe, José Hernández, Editores: José Ruzzante, M. Isabel López Pumarega, ISBN: 978-987-1323-28-9, CNEA, agosto 2012.
- "Cuadernos ICES 5: Caracterización de Cenizas del Volcán Peteroa", Adalgisa Scotti, Darío N. Torres, Editores: José Ruzzante, M. Isabel López Pumarega, ISBN: 978-987-1323-29-8, CNEA, agosto 2012.

- "Cuadernos ICES 4: Volcán Peteroa: Geología, Actividad Eruptiva 2010-2011 y Vulnerabilidad de la Población; Resultados Geofísicos para el Aprovechamiento Geotérmico en el Área de Los Molles, Sur de Mendoza", M. Haller, C. Risso, A. Ramires, M. Mamaní, E. Borzotta, O. Di Giuseppe, E. Buk, CNEA, ISBN: 978-987-1323-25-8, octubre de 2011.
- "Cuadernos ICES 3: Organización de las Instituciones Científicas en la Argentina (1933-1996). Una Visión Panorámica", D. Hurtado, ISBN: 978-987-05-9372-0, CNEA, septiembre de 2010.
- "Cuaderno ICES 2: Acoustic Emission, Vol. 1, Microseismic, Learning how to listen to the Earth...", K. Ono, M.I. López Pumarega, J.E. Ruzzante, ISBN 978-987-05-4116-5, CNEA, Marzo, 2009.
- "Cuaderno ICES 1: Riesgos socio-naturales y ordenamiento territorial en la ciudad y zona agrícola de Malargüe, Análisis Preliminar", A. Ramires, ISBN: 978-987-05-4774-7, CNEA, 2008.
- Folletos varios de las distintas actividades del ICES.
- "Guía de Líquenes. Reserva La Payunia, provincia de Mendoza", 2013.
- "II Carta de Mendoza sobre la Gestión de Riesgo de Desastres", Mendoza, 2011.
- Video "Mesa Redonda sobre Vulcanología, Impacto y Consecuencias de la Caída de Cenizas Volcánicas", 2011;
- Video con imágenes aéreas de la erupción del volcán Peteroa, 2010.
- "Carta de Mendoza sobre la Gestión de Riesgo de Desastres", Mendoza, 2010.
- "Caracterización ecológica de los Ríos del Departamento de Malargüe, Mendoza, Argentina", 2010.
- Video "Campaña Peteroa 2009", 2009.
- Video "Recuerdos de Cenizas", 2007.
- Video con imágenes en el rango visible visibles y también termográficas, de los cráteres del volcán Peteroa, 2005.

ENCUENTROS INTERNACIONALES ANUALES, E-ICES

Desde hace 10 años, el ICES organiza en distintos lugares del país y en forma anual, sus Encuentros Internacionales, para fomentar la conjunción e intercambio de investigaciones, experiencias, actividades y proyectos entre los investigadores y técnicos de las diversas áreas de Ciencias de la Tierra. Una característica especial de los E-ICES, es que cada jornada del Encuentro se organiza, no agrupando los Trabajos de la misma especialidad, sino mezclándolos entre sí, de modo de crear un espacio propicio para el entendimiento y el intercambio entre los investigadores y los técnicos de las diversas áreas de las ciencias de la tierra, así se podrá lograr una mayor colaboración entre todos.

La mayoría de los Encuentros se llevaron a cabo en la ciudad de Malargüe, contando para ello con la colaboración del Gobierno Municipal local, que facilitó las instalaciones en donde se desarrollaba el Congreso.

En general en estos 10 años de concreción de los E-ICES, han colaborado muchas instituciones, entre las que se puede destacar: CNEA; UNCuyo; Embajada de Italia en Argentina; Municipalidad de Malargüe; Agencia Nacional de Promoción Científica y Tecnológica ANPCyT; Instituto de Acústica y Sensorística Orso Mario Corvino IDASC, Roma, Italia; Consejo Nacional de Investigaciones, CNR, Italia; Internacional

Centre for Theoretical Physics, ICTP, Trieste, Italia; Instituto Nacional de Oceanografía y de Geofísica Experimental (OGS), Trieste, Italia; Observatorio Sismológico, Universidad de Mesina, Mesina, Italia; Instituto Nacional de Geología y Vulcanología INGV, Italia; Fundación Williams, Grupo Latinoamericano de Emisión Acústica, GLEA; empresa Río Tinto y Vale (en 2005 y 2006).

En cada Encuentro se ha logrado una gran convocatoria de variada diversidad temática, con trabajos de alta calidad que abarcan un amplio espectro, entre sus áreas se puede destacar: sismología, antropología ambiental, vulcanología, climatología, geología, recursos naturales y culturales, paleoecología, riesgo ambiental, sensores remotos, biorremediación, arqueología, ciencias de la atmósfera, etc.

A través de estos años se continúa observando el gran aporte de la multidisciplinaridad, a través de la presentación de trabajos gestados por grupos de disciplinas muy distintas, que han emprendido el estudio de un problema en común, a partir de la interacción en los Encuentros de años anteriores.

En general, en cada Encuentro se presentan del orden de 100 trabajos, en la modalidad de exposición oral o poster, con la participación, en promedio, de más de 160 investigadores y técnicos a lo largo de toda la Reunión. Además generalmente se dictan en cada E-ICES, del orden de cuatro Conferencias Plenarias, con temas de particular interés. Todos los años se entrega el libro, CD o DVD, con las Actas de los Trabajos completos expuestos el año anterior, indexado con el código ISBN.

Desde 2005 hasta 2013, se han realizado nueve Encuentros E-ICES, de manera consecutiva y anual; en ocho oportunidades en la ciudad de Malargüe (en el Centro Municipal de Convenciones Thesaurus), una vez en Buenos Aires (en la Sede Central de la CNEA) y otra en Mar del Plata (Hotel 13 de Julio). En este año 2014, se desarrolla en las instalaciones del Centro Atómico Constituyentes de la CNEA, Buenos Aires, la décima edición de los Encuentros ICES, el E-ICES 10, desde el 3 al 6 de noviembre.

A continuación se presenta la lista completa de los anteriores Encuentros, en orden temporal decreciente y algunas de sus principales características.

- E-ICES 9, Malargüe, Mendoza, 22-25 de octubre, 2013. Cabe destacar las presencias internacionales del Presidente del Instituto Nacional de Geología y Vulcanología INGV, Italia, Prof. Stefano Gresta, quien dictó una Conferencia Plenaria; también el Agregado Científico de la Embajada de Italia en Argentina, Ing. Gabriele Paparo habló sobre la "Evolución de la cooperación entre Argentina e Italia desde 2006 hasta hoy".
- E-ICES 8, Mar del Plata, Buenos Aires, 30 octubre-2 noviembre 2012. Hubo, 100 inscriptos a la reunión, 80 trabajos presentados, con 60 exposiciones orales y 20 pósters. También se entregaron dos premios a Jóvenes Investigadores.
- E-ICES 7, Malargüe, Mendoza, 31 de octubre-3 de noviembre de 2011. El número de inscriptos a la reunión fue de 160 personas. 130 trabajos presentados, con 100 exposiciones orales y 30 pósters. Se realizó un Simulacro de Sismo en una Escuela Primaria local. También se entregaron dos premios a Jóvenes Investigadores.
- E-ICES 6, Malargüe, Mendoza, 4-8 de octubre de 2010. El número de inscriptos a la reunión fue de 113 personas, 97 trabajos presentados, con 77 exposiciones orales y 20 pósters. También se entregó el Premio al Joven Investigador, y a los ganadores de las Olimpíadas Ambientales

realizadas en Escuelas Secundarias de Malargüe, gracias a la colaboración del Istituto di Sensoristica di Roma y la empresa minera Vale.

- E-ICES 5, Malargüe, Mendoza, 24-27 noviembre de 2009. Hubo 120 inscriptos, 17 científicos de Italia, Colombia, España y resto de América. 7 Conferencias Plenarias, 63 exposiciones orales y 20 pósters. Se otorgaron dos premios a los Investigadores Jóvenes.
- E-ICES 4, Malargüe, Mendoza, 29-31 de octubre 2008. Participaron 100 inscriptos, 10 científicos de Italia, España, Chile y resto de América. Fue declarada de interés por la Cámara de Diputados de la Provincia de Mendoza. Se inauguraron los módulos habitacionales, Laboratorio y Dormitorio, a instalarse en la Estación Multiparamétrica Peteroa. Se llevó a cabo el primer Concurso de Jóvenes Investigadores, que continuó realizándose en todas las siguientes reuniones.
- E-ICES 3, Malargüe, Mendoza, 20-23 de noviembre de 2007. Hubo más de 45 expositores y más de 10 posters. Allí se hizo mención a dos importantes distinciones a investigadores del ICES: a) al **Dr. Adolfo Gil** (Grupo de Arqueología Mendoza, San Rafael, Mendoza, Argentina), por el **"Premio Bernardo Housay"** de la Secretaría de Ciencia y Técnica SECYT, de Argentina, al mejor investigador joven del país, en el área de Ciencias Sociales y Humanidades; y b) al **Dr. José Carcione** (Istituto Nazionale di Oceanografia e di Geofisica Sperimentale, OGS, Trieste, Italia), el "**Nigel Anstey Award"**, otorgado por la "European Association of Geoscientists & Engineers, EAGE".
- E-ICES 2, Buenos Aires, 28-30 de noviembre de 2006. Se realizó en la Sede Central de la CNEA en Buenos Aires. Participaron diversas autoridades como el Embajador de Italia Stefano Ronca y los Agregados Científicos de Italia y EEUU. En esa ocasión, en la Embajada de Italia en Argentina, entre el entonces Presidente de la CNEA Dr. Pablo Abriata, el Ing. Tulio Del Bono, entonces Secretario de Ciencia y Técnica (SeCyT) de la Nación, se firmó la **Carta de Intención** para la creación del ICES Nodo Argentina, disponiéndose la adjudicación de fondos especiales ad-hoc (ver Fig. 7).
- E-ICES 1, Malargüe, Mendoza, 21-25 de noviembre de 2005. Fue declarado de Interés, por las Honorables Cámaras de Diputados de la Prov. de Mendoza, y de Senadores de la Nación; y por el Consejo Deliberante de la Municipalidad de Malargüe.



Figura 7. Firma de la Carta de Intención para la creación del ICES Nodo Argentina, Embajada de Italia en Argentina, Buenos Aires, E-ICES 2, 2005.

En las Fig. 8 y 9 se muestran las fotografías de los participantes del E-ICES 1 y del E-ICES 9.



Figura 8. Fotografía de los participantes en el E-ICES 1, Malargüe, Mendoza, 2005.



Figura 9. Fotografía de los participantes en el E-ICES 9, Malargüe, Mendoza, 2013.

Desde el E-ICES 4 en adelante, todos los años se organiza el **Concurso Jóvenes Investigadores,** que permite premiar, gracias a la colaboración de varias instituciones, a los autores de los mejores trabajos presentados por investigadores menores de 35 años. Los Trabajos deben ser defendidos en forma oral y los fondos obtenidos como Premio, deben ser empleado en la continuación de sus investigaciones en la Argentina. A partir del año 2009, debido a la creciente cantidad de Inscriptos, se pudo ampliar el reconocimiento a un Segundo Premio y luego a un Tercer Premio.

La lista completa de ganadores en estos 10 años es:

- **E-ICES 4**, 2008: **Analía M. Forasiepe**, "Un nuevo marsupial Sparassocynidae (Mammalia, Metatheria, Didelphoidea) de la Formación Aisol (San Rafael, Mendoza) y comentarios estratigráficos relacionados" (ver Fig.10).
- **E-ICES 5**, 2009, Primer Premio: **Analía Andrade,** "Evolución Paleoambiental de la Meseta de Somuncurá (Patagonia, Argentina) Durante el Holoceno Tardío: Los Micromamíferos como *Proxy* Datos".

Segundo Premio: **Daniel Germán Flores**, "Susceptibilidad del Área Natural Protegida (Anp) y Parque Provincial Presidente Sarmiento, en la Provincia de San Juan".

- **E-ICES 6**, 2010: Primer Premio: **Marcela J. Nabte**, "Desarrollo de Criterios Ecológicos para la Conservación de Mamíferos Terrestres en Península Valdés".

  Segundo Premio: **María Jimena Trotteyn**, "El Presente es la Clave de los Hechos del Pasado": Una Patología Actual Evidenciada Hace 228 Millones de Años".
- **E-ICES 7**, 2011: Primer Premio: **Carina Llano**, "Del Viejo al Nuevo Mundo: Evidencia Arqueológica del Uso de Plantas a través del Registro de Cueva de Luna-Malargüe-Mendoza-Argentina".

  Segundo Premio: **Damián E. Tasoni**, "Iniciación en la Investigación Científica en Temas de Glaceología. El Glaciar Piloto"
- **E-ICES 8**, 2012: Primer Premio: **M. Navarro**, "Estudio Preliminar en la Biodegradación Aeróbica de Suelos Contaminados con Hidrocarburos en Vistas a la Optimización del Proceso a Campo".

  Segundo Premio: **María Florencia Gobbi**, "Biorremediación de Suelos Contaminados con Hidrocarburos. Efecto de la Incorporación de Fertilizantes Nitrogenados".
- **E-ICES 9**, 2013: Primer Premio: **Victoria Pereyra**, "Aportes Locales y Regionales al Aerosol Atmosférico del Área Metropolitana de Buenos Aires" (ver Fig. 11).

  Segundo Premio: **Juan Manual Rodríguez**, "Diversidad de Líquenes (Hongos Liquenizados) en Rocas Volcánicas de la Reserva provincial La Payunia, Mendoza".

  Tercer Premio (compartido): **Paola Caymes Scutari** y **Miguel Méndez Garabetti**, "Incremento en la Eficiencia Computacional para la Predicción de Incendios Forestales", y "Predicción del Comportamiento de Incendios Forestales mediante aplicación de Modelo de Islas ESS";

  José Augusto Casas, "Caracterización de la Actividad Sismovolcánica en el Volcán Peteroa";

  Darío Emilio Peralta, "Oxidación Química de Recortes de Perforación de la Industria Petrolera".





Figura 10. Primera Ganadora del Concurso Jóvenes Investigadores, Analía M. Forasiepe E-ICES 4, 2008.

Figura 11. Ganadora del Primer Premio, Concurso Jóvenes Investigadores, Victoria Pereyra, E-ICES 9, 2013.

CONCLUSIONES

En estos 10 años de realización de los Encuentros E-ICES se ha logrado cumplir con los objetivos fundacionales del ICES, reuniendo a especialistas nacionales e internacionales que han colaborado entre sí con sus distintas investigaciones y proyectos.

En el espacio de estas Reuniones E-ICES, se generaron importantes proyectos de trabajo a nivel nacional e internacional. También se originaron las gestiones para la concreción de otros Nodos ICES en Latinoamérica, a través de la firma de Cartas de Intención con investigadores de Brasil, Colombia, Uruguay.

En cada E-ICES se han mostrado los avances anuales en los proyectos de investigación de los científicos, técnicos y tecnólogos. A lo largo de todos estos años hemos podido comprobar cómo han ido evolucionando las investigaciones, enriqueciéndose con el aporte de otras miradas dentro de las ciencias, cosa que sólo es posible en el desarrollo de este tipo de Congresos o Reuniones que propician el trabajo conjunto, sumando la experiencia de investigadores de distintas áreas, logrando así la mayor sinergia posible.

PREDICCIÓN DE INCENDIOS FORESTALES MEDIANTE ESS-IM: ANÁLISIS DE VARIACIÓN DINÁMICA DE LA REPRESENTACIÓN DEL TERRENO[10]

Méndez-Garabetti M. A.[a,b], Bianchini G.[a], Tardivo M. L.[a,b,c] y Caymes-Scutari P.[a,b]

[a]Laboratorio de Investigación en Cómputo Paralelo/Distribuido (LICPaD). Departamento de Ingeniería en Sistemas de Información. Facultad Regional Mendoza - Universidad Tecnológica Nacional, Rodriguez 273, Mendoza, ARGENTINA.
[b]Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), ARGENTINA.
[c]Departamento de Computación, Universidad Nacional de Río Cuarto. Ruta Nac. 36, Km. 601, Córdoba, ARGENTINA.

e-mail:miguelmendezgarabetti@gmai.com, gbianchini@frm.utn.edu.ar, lauratardivo@dc.exa.unrc.edu.ar, pcaymesscutari@frm.utn.edu.ar

RESUMEN

Los incendios forestales constituyen uno de los fenómenos naturales que se manifiestan con mayor frecuencia –y cuyo origen se debe en un gran porcentaje a la negligencia humana–, causando año tras año grandes pérdidas y daños en diferentes partes del mundo. Ello ha motivado la elaboración y/o perfeccionamiento de métodos que permitan su predicción, manejo y/o control. Generalmente tales métodos operan en ambientes computacionales, donde debe afrontarse la falta de precisión o incertidumbre en los parámetros que alimentan a los modelos (humedad en la vegetación, velocidad del viento, etc.). En este contexto, nuestro método denominado ESS-IM (Sistema Estadístico Evolutivo con Modelo de Islas), es un método de reducción de incertidumbre aplicado a la predicción del comportamiento de incendios forestales. ESS-IM se basa en Análisis Estadístico, Computación de Alto Rendimiento y Algoritmos Evolutivos Paralelos, para evaluar el comportamiento del fuego en terrenos cuya superficie es representada en el modelo como un conjunto de celdas (pequeñas parcelas) de tamaño fijo. El tamaño de celda utilizado trata de mantener una relación de compromiso entre el tiempo de procesamiento y la calidad en la representación del fenómeno. ESS-IM ya ha demostrado un buen desempeño en términos de calidad de predicción. No obstante, el objetivo de este trabajo consiste en explotar y potenciar la predicción paralela que realizan las diferentes islas sobre distintas regiones del espacio de búsqueda. Las islas interactúan de una nueva manera estableciendo cada una un tamaño diferente de celda. Aquellas islas que utilizan celdas de mayor tamaño son capaces de finalizar antes y determinar –con un menor nivel de resolución– la posible tendencia del incendio. Al introducir esta información en la cadena de predicción puede ayudar a guiar el proceso de predicción brindando mejoras en la reducción de incertidumbre y beneficiando así la calidad de predicción y el tiempo de procesamiento.

INTRODUCCIÓN

Los incendios forestales generan un gran impacto en los ecosistemas, consumiendo millones de hectáreas año tras año alrededor de todo el mundo. Este fenómeno puede ser considerado uno de los más perjudiciales teniendo en cuenta que se manifiesta con mayor frecuencia que otros fenómenos, causando gran cantidad de pérdidas y daños (Morgan P. et al, 2001).

[10]Este trabajo ha sido financiado por UTN bajo el proyecto EIUTIME0002169TC y por ANPCyT mediante el proyecto PRH PICT-2008-00242.

Si bien los incendios pueden ser originados por diferentes factores, principalmente son ocasionados por el hombre. Asimismo existe mayor probabilidad de ocurrencia en época estival, debido a que prevalecen los altos valores de temperatura acompañados de reducidos índices de humedad. Es importante tener en cuenta que tal como existen factores que pueden generar los incendios, también existen otros que propician su propagación, siendo –para este último– el viento un factor predominante.

Teniendo en cuenta los daños que los incendios forestales causan en diferentes partes del mundo y el perjuicio potencial que éstos causarán, resulta de gran interés desarrollar y/o perfeccionar métodos/herramientas que permitan combatir los incendios forestales antes de que éstos se propaguen. Es decir, predecir o pronosticar el comportamiento futuro del fuego una vez iniciado el incendio, lo que permite determinar aquellas áreas con más probabilidad de ser alcanzadas por el fuego y tomar decisiones que posibiliten la reducción de daños y pérdidas causados este fenómeno.

Como es de esperar, la predicción de cualquier fenómeno natural es una tarea compleja y la predicción del comportamiento de los incendios forestales no es una excepción a esta regla. Generalmente los sistemas de predicción utilizan modelos que representan el comportamiento del fenómeno los cuales son incluidos en herramientas de simulación implementadas en herramientas computacionales. La simulación de este tipo de fenómeno necesita de una gran cantidad de datos los cuales son sometidos a una alta complejidad de operaciones. Esto implica que este tipo de herramientas se implementen en un ambiente paralelo/distribuido, el cual hace uso de sistemas computacionales de alto rendimiento para poder resolver el problema en el menor tiempo posible.

Un factor importante que añade complejidad a la tarea de predicción es el conocido como "incertidumbre". Por lo general, el modelo utilizado en todo sistema de predicción necesita de ciertos parámetros de entrada (es decir, aquellos parámetros que representan lo que se desea modelar, que en el caso de los incendios forestales son la velocidad del viento, tipo de vegetación, etc.) para poder brindar la salida que informe acerca de la evolución del fenómeno en función del tiempo. Sin embargo, implementar modelos en ambientes computacionales suele presentar ciertas limitaciones relacionadas con la cantidad de parámetros de entrada (tanto parámetros estáticos como el tipo de vegetación y la pendiente del terreno, como parámetros dinámicos: velocidad y dirección del viento y condiciones de humedad en la vegetación) y el grado de incertidumbre debido a la dificultad de poder cuantificarlos en tiempo real. Debido a esto, reducir la incertidumbre en los parámetros de entrada permite alimentar al modelo con valores más representativos de la realidad, dando la oportunidad de obtener predicciones más precisas, lo que convierte a la reducción de incertidumbre en un aspecto fundamental a ser considerado en el desarrollo de métodos de predicción.

En este trabajo utilizamos un método de reducción de incertidumbre general denominado Sistema Estadístico Evolutivo con Modelo de Islas (ESS-IM, por sus siglas en inglés) el cual fue aplicado a la predicción del comportamiento de incendios forestales. ESS-IM en (Méndez-Garabetti M. et al, 2013b; Méndez-Garabetti M. et al, 2014) demostró mejorar la calidad de predicción en contraste con métodos similares y versiones previas del mismo (Bianchini G. y Caymes Scutari P., 2001; Bianchini G. et al, 2012).

Dado que ESS-IM utiliza celdas de tamaño fijo para representar el terreno sobre el cual se produce el incendio, con el objetivo de mejorar la calidad de predicción, reducir el tiempo de respuesta del sistema y explotar las características del método, en el presente artículo se evalúa la viabilidad de la utilización del método trabajando con diferentes tamaños de celdas. Esto es posible debido a que ESS-IM opera con Modelo de Islas (Cantú Paz E., 1998), lo que permite que cada isla opere con un tamaño diferente de

celda. De esta manera, aquellas islas que utilicen celdas de mayor tamaño podrán finalizar antes y determinar –con un menor nivel de resolución– la posible tendencia del incendio. Esta información adicional, al ser introducida en la cadena de predicción del sistema, puede ayudar a guiar el proceso brindando mejoras en la reducción de incertidumbre, beneficiando así la calidad de predicción y el tiempo de procesamiento.
En la siguiente sección se presenta el funcionamiento del método de reducción de incertidumbre ESS-IM incluyendo una descripción breve de los algoritmos evolutivos paralelos. Seguidamente se analiza la representación del terreno y la incorporación de estas características a ESS-IM. A continuación, se comentan los experimentos realizados y los resultados obtenidos. Finalmente, se presentan las conclusiones del artículo y los próximos trabajos a desarrollar.

SISTEMA ESTADÍSTICO EVOLUTIVO CON MODELO DE ISLAS (ESS-IM)

ESS-IM basa su funcionamiento en un desarrollo previo denominado Sistema Estadístico Evolutivo (ESS, por sus siglas en inglés) (Bianchini G. y Caymes Scutari P., 2001; Bianchini G. et al, 2012). ESS es un método de reducción de incertidumbre perteneciente a los Métodos Conducidos por Datos con Solución Solapada Múltiple (DDMMOS, por sus siglas en inglés) el cual basa su funcionamiento en diferentes herramientas y tecnologías tales como: Algoritmos Evolutivos Paralelos (PEAs, por sus siglas en inglés) (Cantú Paz E., 1998), Análisis Estadístico (Montgomery D.C. y Runger G.C., 2002) y Computación de Alto Rendimiento (HPC, por sus siglas en inglés). Los PEAs permiten guiar la búsqueda de resultados, el Análisis Estadístico es utilizado para calibrar dichos resultados y finalmente el poder de cómputo del HPC es la plataforma que nos permite mejorar la performance de búsqueda en términos de tiempo. Podemos decir que el pilar fundamental de ESS-IM es el PEA, que conforma su núcleo de funcionamiento, por este motivo sus características son comentadas brevemente a continuación.

Algoritmos Evolutivos (EAs)

Los EAs forman parte de un conjunto de técnicas de optimización aproximadas conocidas como técnicas evolutivas, las cuales se basan en la teoría de evolución de Darwin (Darwin C., 1859). De esta manera los EAs imitan el comportamiento de los mecanismos de selección y reproducción de las especies, permitiendo así la resolución de complejos problemas de optimización (Goldberg D., 1989).
Todo proceso de resolución de problemas mediante EAs consiste en un determinado número de iteraciones llamadas generaciones, donde una cantidad de posibles soluciones conforman una población. En el contexto de EAs a cada solución candidata se la denomina individuo, por lo tanto el EA evoluciona a los individuos de la población imitando el principio de selección natural con el único objetivo de que los individuos de la población converjan a una buena solución (ver Fig. 1). Dicha solución no necesariamente será exacta, sino más bien aproximada, y en el mejor de los casos será considerada como óptima (de encontrarse dentro un rango próximo a la solución ideal). Es importante remarcar que por cada individuo se calcula un valor de aptitud, el cual indica la calidad de la solución que dicho individuo representa. Este valor de aptitud es de crucial importancia ya que permite identificar aquellos individuos que poseen mejores características, de modo que el EA pueda garantizar que los individuos con mejores características tengan mayor probabilidad de reproducirse (operación mediante la cual se generan nuevas soluciones). Todo EA implementa la teoría de supervivencia del más apto mediante operadores genéticos los cuales realizan operaciones en los individuos de la población en cada generación.

Los principales operadores genéticos son: selección, reproducción y reemplazo. El operador de **selección** se encarga de escoger los individuos con los cuales se formarán los individuos de la nueva generación, éste conjunto de seleccionado de individuos también suele llamarse progenitores. Como mencionamos anteriormente, todo EA debe favorecer la selección de los individuos con mejor valor de aptitud. Una vez que los progenitores han sido seleccionados, se procede a al proceso de reproducción el cual se encarga de generar a los nuevos individuos. Existen dos operadores de **reproducción**, estos son: recombinación y mutación. El primero opera sobre pares de individuos generando otro par de individuos mediante el intercambio de información entre los progenitores.

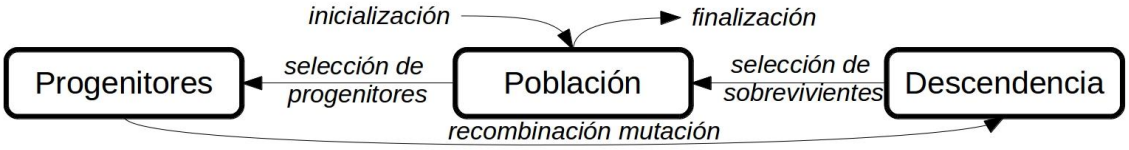


Figura 1. Diagrama general de un Algoritmo Evolutivo.

El segundo operador, opera sobre un solo individuo. Básicamente realiza una pequeña modificación en el individuo, introduciendo cierto grado de diversidad en la búsqueda del algoritmo. En esta instancia del proceso de evolución de la población tendremos tantos individuos progenitores como descendientes (recientemente creados), por lo que se necesita realizar un reemplazo en la población actual para mantener una cantidad fija de individuos, es decir seleccionar los individuos sobrevivientes. Aquí es donde se da lugar al operador de **reemplazo**- Este operador consiste en determinar qué individuos de la población actual serán reemplazados por los descendientes. Para realizar el reemplazo existen diferentes criterios, donde una opción típica suele ser reemplazar de forma inmediata los progenitores con los descendientes; otra opción es reemplazar a aquellos que posean características más similares a los descendientes, y por último reemplazar aquellos individuos que posean los peores valores de aptitud. Cada una de estas alternativas es igualmente aplicable a cualquier EA.

Como mencionamos anteriormente, en nuestros métodos hacemos uso de sistemas de alto rendimiento con el objetivo de minimizar el tiempo de procesamiento por lo que necesitamos utilizar EAs de forma paralela, es decir Algoritmos Evolutivos Paralelos. De las tres alternativas de paralelización de EA mencionadas en Cantú Paz E., 1998, las cuales ofrecen diferentes niveles de paralelización, en nuestros métodos hemos implementado dos de ellas (ver Tabla I).

El esquema **Única Población y Evaluación en Paralelo** se caracteriza por utilizar una estrategia de paralelización del tipo Master-Worker (A. Grama et al, 2003; T. Mattson et al, 2005). En este esquema un único proceso denominado *master* se encarga de evolucionar una única población de individuos. Cada individuo es enviando a los *n* procesos *workers* para que calculen el valor de aptitud de los individuos en paralelo. Es importante remarcar que los operadores genéticos son llevados a cabo por el *master*, dejando a los *workers* solamente la tarea de evaluación de la aptitud de los individuos.

A diferencia de éste, el esquema de **Múltiples Poblaciones y Migración** posee la capacidad de operar con más de una población beneficiando de esta manera la diversidad del algoritmo. Además, esta estrategia permite incrementar el nivel de paralelismo del algoritmo ya que los operadores genéticos son aplicados entre individuos de la misma isla. A su vez, entre las poblaciones de cada isla se realiza cierto intercambio de individuos cada cierta cantidad de tiempo en un procedimiento denominado migración. La migración impide que las islas individualmente converjan a valores óptimos locales, sin explotar la diversidad existente en las islas en conjunto.

Tabla I. Estrategias de paralelización del EA de cada método.

Método	*Estrategia de paralelización*	*Nivel de paralelización*
ESS	Única Población y Evaluación en Paralelo	Moderado
ESS-IM	Múltiples Poblaciones y Migración	Alto

El método utilizado en este trabajo se ha implementado con el modelo de Múltiples Poblaciones y Migración, dando por resultado al sistema que se ha denominado ESS-IM (Méndez-Garabetti M. et al, 2013a, 2013b; Méndez-Garabetti M. et al, 2014).

Funcionamiento de ESS-IM

Anteriormente mencionamos que ESS-IM utiliza tres herramientas (PEAs, Análisis Estadístico y HPC) para lograr reducir la incertidumbre en los parámetros de entrada del modelo. Para su utilización en el comportamiento de incendios forestales, se ha utilizado un modelo representado por un simulador de propagación de incendios forestales basado en el modelo desarrollado por Rothermel (Rothermel R.C., 1972) e implementado en ambiente computacional mediante la librería fireLib (Bevins, C.D., 2004). Como puede observarse en la Fig. 2.a, fireLib representa el terreno (sobre el cual se produce el incendio y la simulación) mediante celdas de tamaño fijo.

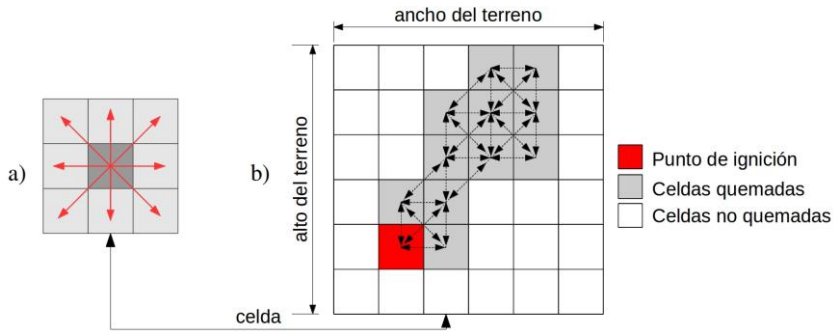


Figura 2. Representación del terreno mediante celdas. a) Esquema de comunicación de 8 vecinos. b) Ejemplo de propagación del fuego desde el punto de ignición en función de las condiciones ambientales.

Cada celda se encuentra conectada directamente con 8 vecinos hacia los cuales puede transmitir la propagación del fuego si las condiciones ambientales representadas por los parámetros de entrada lo permiten. Por lo tanto, para modelar la propagación del fuego se utiliza una aproximación de autómatas celulares tal como puede observarse en la Fig. 2.b. En esta figura se asume que las condiciones ambientales permiten que el fuego sólo pueda propagarse desde el punto de ignición hacia el noroeste. Este tipo de la representación es utilizada en ESS-IM tanto en los mapas reales (que contienen información acerca del incendio real) y en los mapas de salida del sistema, los cuales indican la predicción del incendio.

Por lo tanto podemos decir que fireLib es utilizado en ESS-IM como núcleo para desarrollar un simulador de propagación de incendios forestales compatible con el funcionamiento interno de ESS-IM. En la Fig. 3 podemos observar un esquema general del modo de operación y los componentes de ESS-IM aplicado al modelo de predicción de incendios forestales. En dicha gráfica el simulador de propagación de incendios se encuentra representado por el cuadro denominado **FS** (Fire Simulator). Tal como se puede observar, el simulador es sólo un eslabón dentro del método, el cual recibe como datos de entrada el frente de fuego real del incendio (**RFL_{i-1}**) y un conjunto de parámetros de entrada (**PV)** que definen las condiciones en las cuales se está produciendo el incendio. En ESS-IM una combinación de estos parámetros de entrada define un individuo perteneciente a una población de tamaño determinado. Cada individuo está formado por parámetros estáticos y dinámicos, los cuales pueden

observarse en la Tabla II. Evidentemente la incertidumbre se hace presente en aquellos parámetros cuyo valor varía más dinámicamente en función del tiempo, dada la dificultad de cuantificarlos en tiempo real.

Tabla II. Parámetros de entrada del modelo.

Parámetro	*Definición*	*Tipo*
Modelo	Modelo de combustible	Estático
Wind_Spd	Velocidad del viento	Dinámico
Wind_Dir	Dirección del viento	Dinámico
Slope	Pendiente del terreno	Estático
Aspect	Descripción del terreno	Estático
M_1	Humedad del combustible en 1 hora	Dinámico
M_10	Humedad del combustible en 10 horas	Dinámico
M_100	Humedad del combustible en 100 horas	Dinámico
M_herb	Humedad del combustible herbáceo vivo	Dinámico

Debido a la utilización de islas, en ESS-IM se ha utilizado un proceso independiente denominado *monitor* para controlar el funcionamiento global de las islas. Dicho proceso realiza la inicialización de las islas, recibiendo los resultados parciales y realizando la predicción del comportamiento del incendio. A su vez, en cada isla existe un proceso denominado *master* el cual distribuye los individuos a un grupo de procesos *workers*, realiza la evolución de la población e intercambia individuos entre las distintas islas mediante el procedimiento de migración. Los *workers* efectúan una simulación por cada individuo determinando de esta manera el valor de aptitud (es importante tener en cuenta que esta evaluación es llevada en paralelo al igual que las operaciones efectuadas por cada isla). En términos generales podemos ver que existen tres etapas: 1) Etapa de Optimización (**OS**) dividida en **OS-Worker** y **OS-Master**, 2) Etapa de Calibración también ejecutada tanto por *masters* (**CS-Master**) y *workers* (**CS-Workers**) y 3) Etapa de Predicción (**FP**). La **OS** ejecutada en los *workers* (**OS-Worker**) realiza la evaluación de la aptitud de los individuos ($\mathbf{PEA_F}$) el resto de las operaciones del algoritmo evolutivo es llevada a cabo por el nodo *master* de cada isla. La **OS** ejecutada en los *masters* (**OS-Master**) realiza la evolución genética de la población de cada isla hasta que la población alcance cierto nivel de aptitud o se cumpla una determinada cantidad de iteraciones. Además, este nodo realiza la migración de individuos entre las islas vecinas, todas estas funciones son llevadas a cabo por el cuadro **PEA**. La **CS** del nodo *master* (**CS-Master**) implementa el método estadístico descrito en Bianchini G. et al, 2010. Tal como se puede observar la población evolucionada (salida de **PEA**) forma parte de la entrada de la Etapa Estadística (**SS**) la cual genera como salida un mapa de probabilidad utilizado para dos fines: 1) como entrada de la etapa **SK**, donde se realiza la búsqueda de un número clave de ignición (*Kign*) usado para efectuar la predicción en el próximo instante de tiempo. Aquí mismo el mapa de probabilidad es evaluado mediante una función de fitness (**FF**), 2) y como entrada de **CS-Monitor** junto con los *j* valores *Kign* calculados por las *j* islas. **CS-Monitor** posee tres opciones de operación (**CS-Monitor1, CS-Monitor2** y **CS-Monitor3**) en función del tratamiento de los mapas de probabilidad generados por las islas, en (Méndez-Garabetti M. et al, 2014) se verifica que **CS-Monitor1** ofrece mejor calidad de predicción en comparación con las otras técnicas, por lo cual esta modalidad es la utilizada en el presente trabajo.

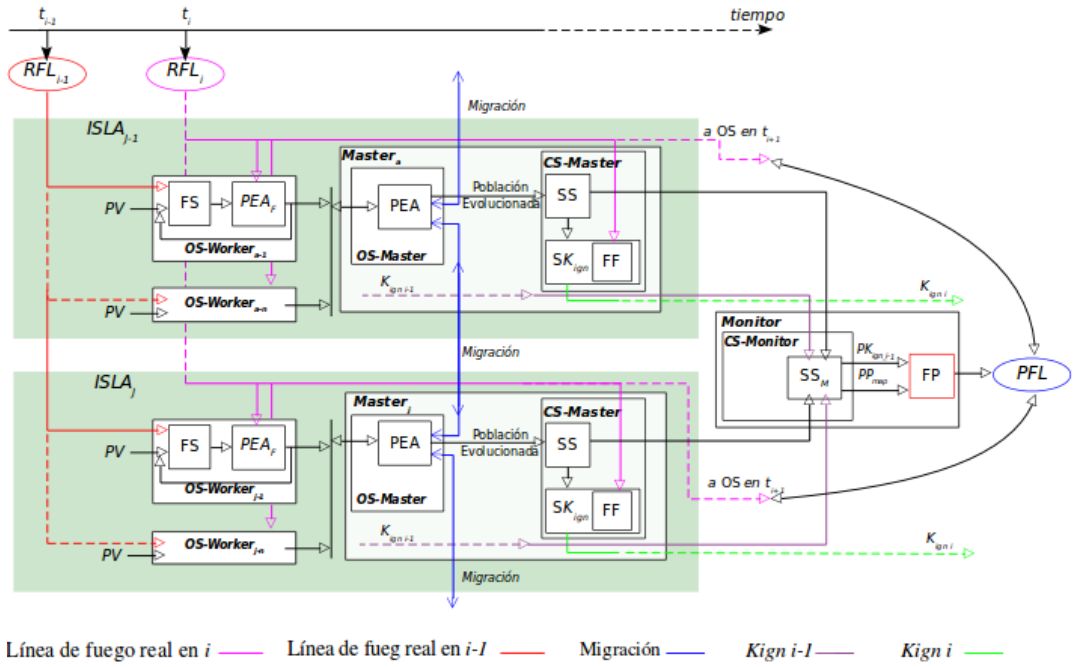


Figura 3. Diagrama esquemático del Sistema Estadístico Evolutivo con Modelo de Islas. (**RFL*X***: estado real en tiempo *X*, **FS**: simulador de propagación de incendios forestales, **OS**: Etapa de Optimización, **CS**: Etapa de Calibración, **PEA**: Algoritmo Evolutivo Paralelo, **PEA$_F$**: Algoritmo Evolutivo Paralelo (evaluación de fitness), **SS**: Etapa Estadística, **SKign**: Búsqueda de Kign, **FF**: Función Fitness, **FP**: Etapa de Predicción, **PFL**: Estado de la línea de fuego propuesta por el modelo, **SS$_M$**: Etapa Estadística (Monitor), **P$_{map}$**: Mapa de Probabilidad).

Finalmente la **FP** es la encargada de efectuar la salida del modelo, es decir la predicción de la línea de fuego (**PFL**) para cada paso de simulación en función del mapa de probabilidad y del valor *Kign* calculado por **CS-Monitor**.

REPRESENTACIÓN DEL TERRENO

Tal como ya hemos mencionado, ESS-IM en (Méndez-Garabetti M. et al, 2013b) y (Méndez-Garabetti M. et al, 2014) permitió mejorar la calidad de predicción del comportamiento de incendios forestales mediante la utilización de múltiples poblaciones o islas con el esquema de funcionamiento descrito en la sección anterior.

Tabla III. Dimensión y tamaño de celda del terreno en el que se produce el incendio a evaluar.

Ancho (m)	*Largo (m)*	*Ancho y largo de celdas (m)*
89	109	1

En ambos trabajos la validación de los resultados fue realizada en distintos casos de quemas controladas realizadas en la localidad de Gestosa Portugal (proyecto SPREAD Viegas D.X., 2004). En la Tabla III podemos observar las dimensiones del incendio controlado que será evaluado en la siguiente sección, el cual también pertenece al proyecto recientemente mencionado. Como se puede observar, la superficie donde se produce el incendio es de 89 metros de ancho por 109 metros de largo con un tamaño de celda de 1 metro por 1 metro con una cantidad total de celdas de 9701. Tal como muestra la Fig. 3, el frente de fuego (**RFL$_i$**) para cada paso de simulación es el mismo para las *j* islas, es decir todas las islas operan con el mismo tamaño de celda. Teniendo en cuenta que es posible representar el mapa real del incendio con diferentes resoluciones, podemos hacer que cada isla opere con un tamaño diferente de celda.

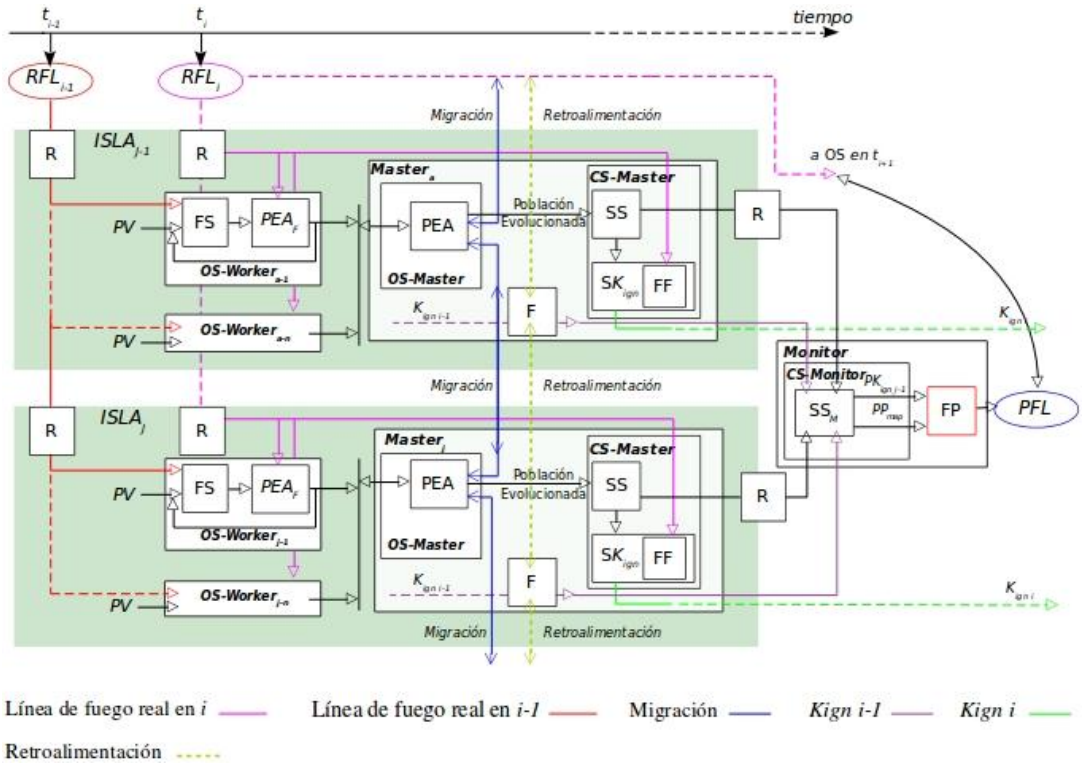


Figura 4. Diagrama esquemático del Sistema Estadístico Evolutivo con Modelo de Islas y redimensión de mapas. (**RFL*X***: estado real en tiempo *X*, **FS**: simulador de propagación de incendios forestales, **OS**: Etapa de Optimización, **CS**: Etapa de Calibración, **PEA**: Algoritmo Evolutivo Paralelo, **PEA_F**: Algoritmo Evolutivo Paralelo (evaluación de fitness), **SS**: Etapa Estadística, **SKign**: Búsqueda de Kign, **FF**: Función Fitness, **FP**: Etapa de Predicción, **PFL**: Estado de la línea de fuego propuesta por el modelo, **SS_M**: Etapa Estadística (Monitor), **P_{map}**: Mapa de Probabilidad), **R**: Redimensionamiento, **F**: Retroalimentación.

Entonces, aquellas islas que trabajen con menor resolución (i.e., celdas de mayor tamaño) pueden simular la progresión del incendio en menor tiempo y de esta manera determinar la posible tendencia del incendio. Esta información adicional, al ser introducida en la cadena de predicción del sistema, puede ayudar a guiar el proceso brindando mejoras en la reducción de incertidumbre, beneficiando así la calidad de predicción y el tiempo de procesamiento. Por este motivo es que en este trabajo evaluamos de forma preliminar, para un caso real de quema controlada, el funcionamiento del sistema mediante diferentes resoluciones con el objetivo de verificar si es viable la retroalimentación de información mediante la utilización diferentes tamaños de celda de forma simultánea en distintas islas. Un esquema general de funcionamiento de ESS-IM en donde cada isla opera con un nivel de resolución diferente en cada isla se muestra en la Fig. 4. Tal como se puede observar, la línea de fuego real (**RFL_i**) es introducida en una etapa de Redimensionamiento (**R**) donde el mapa es modificado a una resolución determinada por el nodo *monitor* (esta relación no está representada en la figura por motivos de simplicidad). Es importante tener en cuenta que el mapa real del incendio contra el cual se realiza la comparación de la predicción no es redimensionado por lo cual antes de efectuar la comparación los mapas de cada isla deben ser sometidos nuevamente a un redimensionamiento para poder ser comparado.

Otra etapa necesaria es la de Retroalimentación (**F**) entre islas. Esta etapa se encargará de enviar información sobre la tendencia del incendio. Generalmente el sentido de comunicación de esta etapa será desde aquellas islas que utilizan menor resolución hacia las de mayor resolución, ya que las primeras deberían ser las que necesiten menos tiempo para calcular la progresión del incendio debido al menor tamaño del mapa. Es

importante tener en cuenta que para poder llevar a cabo esta implementación es de crucial importancia determinar la modalidad de redimensionar los mapas, de modo que las comparaciones entre las predicciones de menor resolución y el mapa real de mayor resolución pueda ser confiable, lo cual es evaluado en la siguiente sección.

EXPERIMENTACIÓN Y RESULTADOS

Como mencionamos anteriormente, el simulador de incendios utilizado en el método se ha implementado con fireLib, el cual utiliza el concepto de autómata celular para simular la propagación del incendio. Cada celda contiene un valor en minutos que indica el momento en el que el fuego alcanzó el centro de dicha celda. En la Fig. 5a podemos ver una representación simplificada a modo de ejemplo de la propagación de un incendio de 5 minutos de duración para un mapa de 80 celdas. El foco del incendio comienza en las celdas indicadas con el valor 1 (minuto 1) y finaliza en aquellas marcadas con el valor 5 (minuto 5), las celdas con valor igual a 0 (cero) no son alcanzadas por el fuego. En la Fig. 5b vemos el mapa anterior (Fig. 5a) redimensionado a menor resolución con relación 4:1, es decir 4 celdas del mapa original corresponden a 1 celda el mapa redimensionado, dando un total de 20 celdas. Como podemos ver el redimensionamiento consiste en calcular, por cada 4 celdas, un único valor (en minutos) que represente de la mejor manera posible una porción de terreno antes señalizada con 4 valores. En el ejemplo podemos ver que las celdas 1,1; 1,2; 2,1 y 2,2 del mapa original (Fig. 5a), en el mapa redimensionado están representadas solamente por la celda 1,1 en el mapa redimensionado (Fig. 5b). Por supuesto que este proceso nos lleva a una pérdida de precisión debido a la disminución del nivel de resolución, pero utiliza menor cantidad de tiempo. El proceso inverso (convertir el mapa de menor dimensión en uno de dimensión igual al original o de mayor resolución), está representado en la Fig. 5c y 5d para el ejemplo mencionado. En este caso, el proceso consiste en redimensionar el mapa a su resolución original (1:4), o sea a mayor resolución. De esta manera, por cada celda se deben obtener 4 celdas de menor tamaño, cada una con valores en minutos como resultado de la interpolación del valor de la celda de mayor resolución. Los valores de las celdas de menor resolución se obtienen mediante un proceso de contagio de valores de sus vecinos. Para el caso de las celdas que no tienen vecinos se toma como valor de vecino el mismo que tiene la celda en cuestión. La Fig. 5d muestra el proceso de contagio de los vecinos en el proceso de redimensión de la celda 1,1 de la Fig. 5c, tal como se puede observar las celdas obtienen el valor en relación a los valores de sus vecinos, teniendo más fuerza los valores que más veces inciden sobre una celda particular o aquellos con valores más elevados. Como se puede observar la celda 1,1 de la Fig. 5c no tiene vecinos en dirección norte, este, noroeste y noreste, por lo tanto para estos vecinos los valores que se considera el mismo valor de la celda en cuestión, tal como se puede observar en la Fig. 5d.

Teniendo en cuenta esta metodología para redimensionar los mapas, se evaluó para un caso de quema controlada de la Tabla III la calidad de predicción y el tiempo de procesamiento en tres tamaños diferentes de resolución.

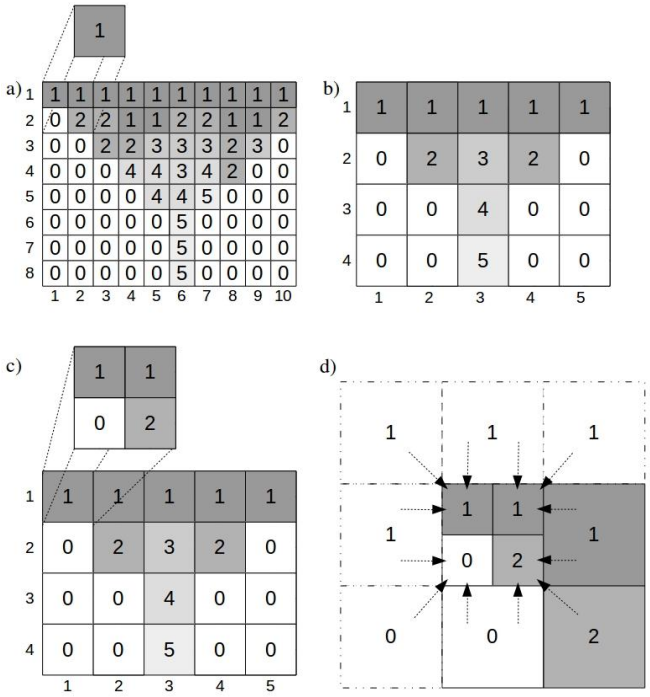


Figura 5. Redimensión de mapas: a) Mapa en tamaño original, b) Mapa redimensionado en menor resolución (4:1), c) Proceso inverso de redimensión a mayor resolución (1:4), d) Cálculo de valores en proceso de redimensión a mayor resolución.

En la Tabla IV se puede observar las distintas resoluciones utilizadas en la experimentación y el tiempo de procesamiento incurrido por la ejecución de cada mapa en un clúster Linux bajo un entorno MPI (Gropp W., et al 1999) y Gigabit Ethernet.

Tabla IV. Caso 2: Valores de mapas redimensionados, mapa original y tiempo de procesamiento total.

Características	*Redimensión 1 (R1)*	*Redimensión 2 (R2)*	*Redimensión 3 (R3)*	*Dimensión Original*
Ancho (m)	72	54	43	89
Largo (m)	59	44	35	109
Cdad. de celdas	4248	2376	1505	9701
Ancho de celda (m)	1,51	2,01	2,5	1
Tiempo de cálculo (seg.)	251,00	107,05	1,50	932,20

En la Fig. 6 podemos observar los resultados en términos de calidad de predicción. El eje *x* representa el tiempo de avance del incendio en función de los pasos de predicción y el eje *y* representa al valor de aptitud alcanzado para cada paso. En dicha gráfica un valor de aptitud igual a 1 indicaría una predicción perfecta, y un valor igual a 0 una predicción completamente errónea. Además, es importante remarcar que debido al comportamiento estocástico del método, los resultados que se muestran corresponden al promedio de 30 ejecuciones. Como podemos observar, a medida que la resolución del mapa disminuye, también lo hace la calidad de predicción. Sin embargo, en algunos casos llaman la atención los valores hallados, como por ejemplo en el minuto 14 para la redimensión 1 (R1) donde se obtiene un valor de predicción superior al del mapa en mayor resolución. Algo similar ocurre en el minuto 8 para R2 en contraste con R1 y en el minuto 12 entre R3 y R2, donde este último es superado por el mapa de menor resolución. Si bien esto sucede en pocas oportunidades, casos puntuales como estos son relevantes, teniendo en cuenta que al operar el método en resolución R1 obtenemos un ahorro de tiempo de 681,2 segundos, 827,15 segundos en R2 y 930,7 segundos en R3. El retroalimentar los pasos previos de predicción con este tipo de información nos podrá permitir lograr ahorros considerables de tiempo, es decir, podríamos obtener la

predicción completa del incendio en menor cantidad tiempo y por ende con menor cantidad de utilización de recursos computacionales. Si bien la disminución de tiempo con la disminución de resolución es grande, la pérdida de calidad de predicción también es considerable. Por lo tanto, el nuevo objetivo será lograr identificar aquellos casos en donde los valores de predicción de un mapa de menor resolución es correcto y puede ser enviado a etapas anteriores logrando reducir el tiempo de procesamiento y, por qué no también, mejorar la calidad de predicción.

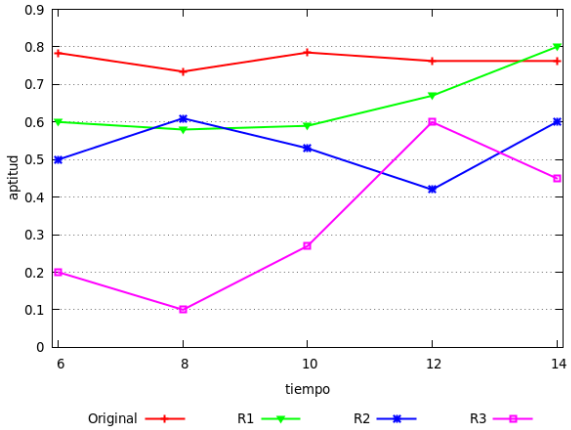


Figura 6. Análisis de calidad de predicción para cada uno de los mapas redimensionados.

CONCLUSIONES

En este trabajo se describe una futura implementación o adaptación del método de reducción de incertidumbre llamado Sistema Estadístico Evolutivo con Modelo de Islas (ESS-IM). Esta propuesta evalúa un aprovechamiento máximo del nivel de paralelismo del método, el cual trabaja con múltiples poblaciones o islas incrementando la diversidad de la población y permitiendo generar soluciones de mayor calidad. Dicho método ha sido aplicado con éxito en la predicción del comportamiento de incendios forestales, donde la progresión del fuego es representada mediante terrenos divididos en celdas de tamaño fijo. Teniendo en cuenta que el método opera con un esquema de islas, cada isla podría operar con un tamaño diferente de celda, permitiendo que algunas islas (las de menor tamaño de celda) obtuviesen resultados en menor tiempo, permitiendo así retroalimentar al método con el objetivo de reducir el tiempo de procesamiento y, de ser posible, mejorando la calidad de predicción. Para ello se ha propuesto una técnica de redimensión de mapas para que cada isla modifique las dimensiones del mapa de entrada y salida, la cual ha sido puesta a prueba en un caso de quema controlada real, permitiendo tomar medidas en relación a la calidad de predicción y el tiempo de procesamiento al redimensionar el mapa en tres escalas diferentes. Los resultados muestran que la calidad de predicción disminuye en relación a la resolución del mapa, como así también el tiempo de procesamiento. Sin embargo, en algunos casos se observan resultados que podrían ser utilizados para retroalimentar etapas previas y, debido al ahorro de tiempo sujeto a cada una de estas alternativas, se podría reducir el tiempo de procesamiento total de la cadena de predicción.

Si bien los resultados obtenidos aún no han sido aplicados en una versión con retroalimentación del método, esto será completamente viable teniendo en cuenta la estructura de operación interna de ESS-IM. Por tales motivos, en el futuro se trabajará para incorporar al método la capacidad de que cada isla pueda redimensionar el mapa de entrada/salida y que éstas puedan compartir sus resultados parciales con las demás islas propiciando un mejor funcionamiento del método.

REFERENCIAS

Bevins, C. D., 2004. *FireLib User Manual & Technical Reference*. http://www.fire.org/

Bianchini G. and Caymes Scutari P., 2011. Uncertainty Reduction Method Based on Statistics and Parallel Evolutionary Algorithms. *Proceedings of High-Performance Computing Symposium* - 40 JAIIO (HPC 2011, ISSN: 1851-9326) 1-4.

Bianchini G., Méndez-Garabetti M. and Caymes-Scutari P., 2012. Evolutionary-Statistical System for Uncertainty Reduction Problems in Wildfires. XVIII CACIC, *XII Workshop de Procesamiento Distribuido y Paralelo (WPDP)*. ISBN: 978-987-1648-34-4, 230-238.

Cantú Paz E., 1998. A survey of Parallel Genetic Algorithms. Calculateurs Parallèles, *Reseaux et Systems Repartis.*, **10**(2), 141-171.

Darwin C., 1859. *On the Origin of Species by Means of Natural Selection*. Murray, London.

Goldberg D., 1989. *Genetic Algorithms in Search, Optimization and Machine Learning*. Addison-Wesley Longman Publishing Co. Inc. Boston.

Grama A., Gupta A., Karypis G. and Kumar V., 2003. *Introduction to Parallel Computing*. Second Edition. *Pearson*.

Gropp W., Lusk E. and Skjellum A. 1999. *Using MPI - Portable Parallel Programming with the Message-Passing Interface*. Second edition. The MIT Press.

Mattson T., Sanders B. and Massingill B., 2005. *Patterns for Parallel Programming*. Addison-Wesley.

Méndez-Garabetti M., Bianchini G., Tardivo M.L. and Caymes-Scutari P., 2013. Evolutionary-Statistical System with Island Model for Forest Fire Spread Prediction. HPCLatAm 2013, *Session: Evolutionary Computation & Scheduling*, 61-64.

Méndez-Garabetti M., Bianchini G., Tardivo M.L. and Caymes-Scutari P., Predicción del comportamiento de incendios forestales mediante aplicación de modelo de islas a ESS, *9no Encuentro del International Center For Earth Sciences* (E-ICES9), Malargüe, Argentina, (2013), pp. 55.

Méndez-Garabetti M., Bianchini G., Tardivo M.L. and Caymes-Scutari P., 2014. Comparative analysis of performance and quality of prediction between ESS and ESS-IM XL *Conferencia Latinoamericana en Informática* (CLEI 2014), Facultad de Ingeniería, Universidad de la República (Montevideo), Uruguay. Proceedings of the 2014 Latin American Computing Conference (CLEI) Special Edition, pp. 23-31, 2014.

Morgan P., Hardy C., Swetnam T.W., Rollins M.G. and Long D.G., 2001. Mapping fire regimes across time and space: Understanding coarse and finescale fire patterns, *International Journal of Wildland Fire.*, **10**, 329-342.

Montgomery D.C. and Runger G.C., 2002. *Probabilidad y Estadística aplicada a la Ingeniería*. Limusa Wiley.

Rothermel R.C., 1972. *A mathematical model for predicting fire spread in wildland fuels*, Res. Pap. INT-115, US Dept. of Agric., Forest Service, Intermountain Forest and Range Experiment Station. (Ogden, UT.).

Viegas D.X., 2004. (Coordinator) et al., *Project Spread - Forest Fire Spread Prevention and Mitigation*. http://www.algosystems.gr/spread/

Este trabajo participa en el "Concurso Jóvenes Investigadores"

NATURALEZA Y PROPIEDADES MAGNÉTICAS DE COMPUESTOS DE HIERRO EN SUELOS DEL SUDOESTE DE LA PROVINCIA DE BUENOS AIRES

Moralejo M. del P. y Acebal S. G.

INQUISUR (CONICET-UNS) Departamento de Química,Universidad Nacional del Sur, ARGENTINA

e-mail: pilarmor@criba.edu.ar

RESUMEN

Los suelos son sistemas heterogéneos complejos donde los óxidos e hidróxidos pedogenéticos de Fe son componentes significativos debido a su alta reactividad superficial. Estos compuestos aparecen como recubrimientos superficiales no cristalinos o en fases cristalinas como óxidos hidratados, también se presentan como partículas cristalinas discretas y, por último, formando concreciones o nódulos.

La caracterización y cuantificación de estas especies es de gran importancia para entender procesos de adsorción-desorción y la formación de agregados que originan la estructura del suelo, por lo tanto, se realizó un análisis de las propiedades físicas, químicas y magnéticas de varios suelos ubicados en la región sudoeste de la Provincia de Buenos Aires, clasificados como Molisoles y Entisoles. Se tomaron muestras del horizonte superficial, se secaron al aire, se molieron y, por último, se tamizaron hasta obtener partículas menores de 2 mm. Se usaron los siguientes métodos de disolución:

- *Oxalato de amonio (pH 3), relacionado a fases de Fe amorfas y/o con baja cristalinidad (Fe_o).*
- *Ditionito-citrato-bicarbonato (DCB), agente disolutivo de óxidos de Fe cristalinos y amorfos (Fe_{DCB}).*
- *Fusión total o contenido total (Fe_t).*

El parámetro magnético analizado fue la susceptibilidad magnética (χ), siendo éste uno de los más utilizados para reflejar la concentración de materiales ferrimagnéticos.

El análisis del Fe se realizó por Espectrometría de Absorción Atómica. La mayor cantidad del Fe presente está como forma no extractable, es decir, formando parte de la red cristalina de los aluminosilicatos:

$$(Fe_{silicato} = Fe_t - Fe_{DCB})$$

El Fe_{DCB} asociado con la presencia de óxidos de Fe cristalinos, con la remoción de recubrimientos amorfos y cristalinos que actúan como agentes cementantes y con goetitas y hematitas Al-substituídas fue la forma de Fe extractable de mayor importancia:

$$(Fe_{óx.\ cristalinos} = Fe_{DCB} - Fe_o)$$

La χ indicó una elevada concentración de materiales ferrimagnéticos en los horizontes superficiales.

INTRODUCCIÓN

El estudio de los óxidos de Fe presentes en los suelos ha sido tradicionalmente enfocado desde diferentes perspectivas: a) con objetivos relacionados con la clasificación y la pedogénesis de los suelos, dada la importancia de su participación en diferentes procesos inherentes a la formación de los mismos y b) con objetivos asociados a la

caracterización química a través de la evaluación del contenido total de óxidos de Fe y/o distintas formas presentes lo que está directamente relacionado con procesos de adsorción-desorción de iones con fuerte incidencia en la fertilidad.

Los suelos son sistemas heterogéneos complejos donde los óxidos e oxohidróxidos de Fe son componentes significativos debido a su alta reactividad superficial. Estos compuestos aparecen como recubrimientos superficiales no cristalinos o en fases cristalinas como óxidos hidratados, también se presentan como partículas cristalinas discretas y, por último, formando concreciones o nódulos.

La caracterización y cuantificación de los óxidos de Fe (denominados así en forma general), es de gran importancia para entender dichos procesos y analizar también la formación de agregados, responsables de la estructura del suelo. Para ello se realizó un análisis de las propiedades físicas y químicas de diversos suelos ubicados en la región sudoeste de la Provincia de Buenos Aires, clasificados como Molisoles y Entisoles.

Los óxidos de Fe pueden ser extraídos del suelo por diferentes métodos, de manera tal que se pueden relacionar las técnicas disolutivas con las distintas formas de estos compuestos presentes en el sistema.

La disolución de estas especies de Fe ejerce un rol significativo en la formación de Fe más lábil y biodisponible. Dentro de los mecanismos de disolución conocidos, la disolución reductiva (Rueda *et al.,* 1992; Acebal *et al.,* 1997) es particularmente importante dado que el Fe^{3+} presente en estos compuestos originará la formación de Fe^{2+} soluble.

En los últimos años, se ha intensificado la aplicación de técnicas para determinar el magnetismo de rocas al estudio de suelos, debido a la alta sensibilidad mostrada, aún cuando los compuestos magnéticos estén presentes en concentraciones muy bajas y también, por su potencial uso como indicador de procesos de formación de suelos (Bartel *et al*., 2005). Los minerales ferromagnéticos (Fe_3O_4: magnetita y γ-Fe_2O_3: maghemita) proporcionan valiosa información acerca de los procesos de formación del suelo y de la naturaleza del material originario, así como de las condiciones ambientales existentes. En cuanto a los minerales antiferromagnéticos, la goetita (α-FeOOH) es el oxohidróxido más importante en suelos bien drenados formados bajo condiciones de humedad, mientras que la hematita (α-Fe_2O_3) predomina en ambientes más secos y situaciones altamente oxidantes (Bógalo Román, 2003).

Se ha incrementado, además, el uso de procedimientos magnéticos aplicados a la evaluación de polución ambiental, debido a la acción de los óxidos ferromagnéticos como principales agentes transportadores (Chaparro *et al*., 2006). Las ventajas de las técnicas magnéticas, frente a otros métodos analíticos, se basan fundamentalmente en su bajo costo, rapidez de las mediciones y su carácter no destructivo, lo que permite reutilizar las muestras en otros estudios.

En el caso de la susceptibilidad magnética (χ), la medición es muy rápida y la ventaja analítica más importante tiene que ver con su sensibilidad, siendo los límites de detección mucho menores que los métodos geoquímicos convencionales. Se utiliza muy frecuentemente para determinar la concentración de materiales ferrimagnéticos debido a que son éstos los que fundamentalmente aportan a χ, con una señal fuerte y positiva.

En este trabajo se emplearon algunos de los métodos químicos de extracción que permiten evaluar las distintas especies de Fe presentes en los suelos: oxalato ácido de amonio, extractante de fases férricas amorfas (Fe_o) y ditionito-citrato-bicarbonato (Fe_{DCB}), agente disolutivo de óxidos de Fe cristalinos y amorfos. Se determinó el contenido total de Fe en las muestras y se efectuó la medición de χ que permitió distinguir minerales magnéticos naturales y estimar su concentración.

Si bien existen trabajos sobre el comportamiento magnético de otros suelos, este estudio constituye la primera evaluación para suelos de esta zona bonaerense de relevancia económica regional.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

Dos sitios de muestreo se encuentran ubicados al sur de la Provincia de Buenos Aires, en el partido de Villarino, en las inmediaciones de la Estación Experimental del INTA Hilario Ascasubi (39º 23 S; 62º 37 O) (Suelos 1 y 7).
Otros dos sitios se ubican al sudoeste de la Provincia de Buenos Aires, en el partido de Bahía Blanca (38º 44 S; 62º 10 O) (Suelos 2 y 6).
Los tres sitios restantes se hallan al sudoeste de la Provincia de Buenos Aires, en el partido de Coronel Pringles (38º 00 S; 61º 15 O) y en el partido de Tornquist (38º 15 S; 61º 8 O) (Suelos 3, 4 y 5). En la Figura 1 se presenta la ubicación geográfica de los sitios de muestreo.



Figura 1. Ubicación geográfica de los sitios de muestreo

Características climatológicas

La Provincia de Buenos Aires se encuentra dentro del clima templado sub-húmedo. En la zona suroeste a la ciudad de Bahía Blanca (Suelos 1 y 7), el clima de la región es templado a templado frío con régimen hídrico semiárido. Según datos estadísticos, la temperatura media anual es de 14,8 ºC y la precipitación media anual es del orden de los 507,9 mm.
En la zona cercana a Bahía Blanca (Suelos 2 y 6) la temperatura media anual es de 15,4 ºC y la precipitación media anual es de 666,8 mm.
Para las regiones ubicadas al noreste de Bahía Blanca (Suelos 3, 4 y 5), la temperatura media anual es de 15,3 ºC y la precipitación media anual es de 683 mm (Zalba, 1989; Sánchez *et al*., 1998; FAA - Estadísticas Climatológicas 1991-2000).

Clasificación

Según el sistema de clasificación norteamericano denominado "Soil Taxonomy" (SSS-USDA) (Soil Survey Staff - United States Department of Agriculture, 1999) los suelos corresponden a los siguientes órdenes: Molisoles y Entisoles.
1) Cambortid Típico (Suelo 1), con regular contenido de materia orgánica, poco arcilloso, con predominio de esmectitas;
2) Haplustol Éntico (Suelo 2), con regular cantidad de materia orgánica e ilita como arcilla predominante;
3) Argiudol Típico (Suelo 3), con mayor contenido de materia orgánica y predominio de ilita;
4) Argiudol Típico (Suelo 4), con buen contenido de materia orgánica y de ilita;
5) Argiudol Páchico (Suelo 5), con elevada cantidad de materia orgánica e ilitas y regular proporción de esmectitas;
6) Paleustol Petrocálcico (Suelo 6), con elevada cantidad de ilita y buen contenido de esmectitas;
7) Ustipsament Típico (Suelo 7), con predominio de esmectitas y bajo contenido de materia orgánica.

Muestreo a campo y preparación de las muestras

En todos los casos el estudio se limitó al horizonte superficial ubicado a una profundidad de hasta 20 cm. Se determinó la selección del lugar en que debía tomarse la muestra del perfil, se anotó la localización detallada del mismo. Estos suelos no presentan problemas de drenaje y no permanecen encharcados.
Se efectuó la excavación, avanzando a lo largo de una parcela siguiendo un camino en zig-zag. Se tomaron así entre diez y treinta muestras individuales que se unieron para formar una muestra compuesta, introduciéndolas en una bolsa de papel claramente etiquetada.
En el laboratorio se procedió al secado, molienda, tamizado, mezcla, partición y conservación. El secado de las muestras se efectuó al aire a una temperatura de 298 K. Los agregados del suelo se sometieron a fractura moliéndolos ligeramente con un rodillo y luego en un mortero de ágata. Luego, las muestras se tamizaron a través de un tamiz de 2mm (esta fracción se denomina suelo entero). Se mezclaron por un proceso de balanceo y todo el material se repartió en muestras parciales efectuando una partición en cuatro partes, es decir las muestras se "cuartearon".
Submuestras de cada uno de los suelos fueron utilizadas para la determinación de propiedades específicas. Durante esta secuencia de procedimientos se evitó el uso de materiales metálicos.

Caracterización de los suelos

Las muestras de suelo utilizadas fueron sometidas a las siguientes determinaciones fisicoquímicas de laboratorio: análisis granulométrico y distribución del tamaño de partícula por fraccionamiento usando tamizado húmedo y sedimentación (Gee y Bauder, 1986). Se obtuvieron las fracciones arena (2 mm-50 µm), limo (50 µm-2 µm) y arcilla (<2 µm), correspondientes a los siete suelos. El pH se determinó en H_2O y en una solución de KCl 1M, según una relación suelo:suspensión 1:2,5 (Jackson, 1982).
La determinación del C-orgánico total se realizó por combustión seca utilizando un Analizador Automático de Carbono marca LECO CR–12, modelo 781-600. La

capacidad de intercambio catiónico (CIC) se determinó por saturación con iones Na^+ y posterior desplazamiento con una solución de $NH_4COO\text{-}CH_3$ 1M midiendo la concentración de ión Na^+ (Summer and Miller, 1996).
Los resultados se informan integrados en la Tabla I.

Tabla I. - Algunas propiedades fisicoquímicas de los suelos estudiados

Muestra	*Arena %*	*Limo %*	*Arcilla %*	*pH H_2O*	*M.O. %*	*C.I.C $cmol_c.kg^{-1}$*
Suelo 1	78,98	6,35	14,67	6,45	2,56	18,05
Suelo 2	64,77	15,95	19,28	6,80	2,65	19,55
Suelo 3	52,64	21,10	26,26	6,58	3,80	21,63
Suelo 4	18,52	51,22	30,26	5,90	3,35	20,0
Suelo 5	42,04	43,95	14,00	6,40	4,78	15,00
Suelo 6	50,44	27,72	21,84	7,50	2,90	17,10
Suelo 7	65,55	21,88	12,55	7,70	0,71	9,60

Metodología

- Se emplearon métodos químicos disolutivos para la caracterización de los óxidos de Fe. Para conocer el contenido de Fe total se realizó un procedimiento de fusión total.
Oxalato ácido de amonio: El tratamiento con $(COONH_4)_2$. H_2O (oxalato de amonio) acidificado a pH 3 (Mc Keague y Day, 1966; Schwertmann, 1973; Acebal *et al*., 1997) es usado generalmente como un método de detección de óxidos de Fe amorfos. Se pusieron en contacto 0,250 g de suelo con 10 mL de solución de oxalato de amonio 0,2 M acidificado con ácido oxálico a pH 3, durante 4 horas en oscuridad para evitar la acción reductiva del oxálico.
Ditionito-citrato-bicarbonato (DCB): el método por reducción con $Na_2S_2O_4$ (ditionito de sodio) es una técnica de disolución selectiva profusamente empleada para extraer óxidos de Fe cristalinos, conocido como método DCB (Mehra y Jackson, 1960). A 4g de suelo colocados en un tubo de centrífuga de 100 mL, se agregaron 40 mL de solución de $C_6H_5Na_3O_7.H_2O$ (citrato de Na) 0,3 M y 5 mL de $NaHCO_3$ 1M (mantiene el pH constante en 7,3) se llevó a 352 K en baño de H_2O y luego se agregó 1 g de $Na_2S_2O_4$ sólido agitando durante 15 minutos en forma esporádica. La suspensión se centrifugó separándose el sobrenadante. El tratamiento se realizó cuatro veces consecutivas y se analizó el contenido de Fe por Espectrometría de Absorción Atómica (EAA) con llama en un equipo GBC 932B, computarizado.

Fusión total: A 2 g de suelo se agregaron 10 mL de $HClO_4$ y 15 mL de HNO_3 concentrado, se transfirió a una cápsula de Pt, añadiendo 10 mL de HF concentrado evaporando hasta casi sequedad, se hicieron dos agregados más de HF evaporando completamente. Se enfrió y se agregaron 16 mL de HCl 6,2 M para disolver el residuo llevándose a 100 mL con H_2O. Se realizó la determinación del contenido total de Fe por EAA.

- Las mediciones de susceptibilidad magnética se llevaron a cabo en el horizonte superficial de todos los suelos, a temperatura ambiente, con un susceptibilímetro Kappameter K2, en el Área de Geofísica del Departamento de Geología de la Universidad Nacional del Sur.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Tabla II se muestran las cantidades máximas obtenidas de los diferentes suelos usando como extractantes oxalato de NH_4 (Fe_o) y DCB (Fe_{DCB}) y el contenido total de Fe, expresado como porcentaje del óxido correspondiente.

Tabla II. – Niveles de Fe extraído de la fracción<2mm, expresado como % de óxido (%Fe_2O_3)

Muestra	[a] Fe_t	[b] Fe_o	[c] Fe_{DCB}	[d] Fe_{sil}	[e] Fe_{crist}
Suelo 1	4,77	0,18	0,82	3,95	0,64
Suelo 2	4,80	0,15	0,77	4,03	0,62
Suelo 3	4,30	0,22	1,56	2,74	1,34
Suelo 4	3,47	0,34	1,50	1,97	1,16
Suelo 5	3,42	0,21	1,25	2,17	1,04
Suelo 6	4,20	0,14	0,72	3,48	0,58
Suelo 7	4,04	0,19	0,82	3,22	0,63

[a] Fe total (obtenido mediante fusión total) [b] oxalato de amonio [c] DCB
[d] Fe asociado a silicatos = Fe_t - Fe_{DCB} [e] Fe asociado a óxidos cristalinos = Fe_{DCB} - Fe_o

El oxalato ácido es reconocido como un agente de extracción de las fases férricas amorfas excluyendo los complejos húmicos de Fe que el reactivo ácido no puede disolver (Acebal *et al*., 1997). Schwertmann (1973) comprobó que este reactivo puede disolver partículas cristalinas de oxohidróxidos si éstas son de dimensiones pequeñas y por lo tanto, de gran superficie específica.
El nivel de Fe_{DCB} es mucho mayor que el Fe_o, ya que el ditionito extrae las formas cristalinas y amorfas que constituyen el Fe libre; esta diferencia está relacionada con la proporción de Fe cristalino presente en el suelo.
De los resultados se infiere que la mayor proporción de Fe está como Fe no extractable, es decir, formando parte de la red cristalina de los aluminosilicatos:

$$(Fe_{silicato} = Fe_t - Fe_{DCB})$$

El Fe_{DCB} asociado con la presencia de óxidos de Fe cristalinos, con la remoción de recubrimientos amorfos y cristalinos que actúan como agentes cementantes y con goetitas y hematitas Al-substituídas (Acebal *et al.*, 2000) fue la forma de Fe extractable de mayor importancia:

$$(Fe_{óx.\ cristalinos} = Fe_{DCB} - Fe_o)$$

Los resultados de la susceptibilidad magnética se observan en la Tabla III.
Se observa una marcada estabilidad de los registros de χ hasta una profundidad de 30 cm. La diferenciación de los transportadores magnéticos es posible de acuerdo a su respuesta magnética. Para transportadores magnéticos diamagnéticos $\chi \sim -10^{-5}$, para los paramagnéticos $\chi \sim 10^{-4}$ y para los minerales ferrimagnéticos y ferromagnéticos, χ toma valores hasta 10^6.

Tabla III. - Valores medios de χ (susceptibilidad magnética)

Muestra	*χ ($x\ 10^{-5}$ SI)*
Suelo 1	962,0
Suelo 2	821,0
Suelo 3	884,0
Suelo 4	922,0
Suelo 5	873,0
Suelo 6	962,0
Suelo 7	984,0

Este estudio pone de manifiesto que en el horizonte superficial de los suelos de esta región se observan elevados valores de susceptibilidad magnética concordando con lo observado por Bógalo Román, 2003; para suelos de climas templados. Este aumento está relacionado con la concentración de minerales ferrimagnéticos, producto de los procesos de oxidación-reducción que tienen lugar en la parte más superficial del suelo. Las variaciones observadas en χ dependen de factores tales como los cambios en la humedad del suelo, la litología, el clima, la topografía, entre otros.
Se observa una moderada dispersión de los valores de χ en los horizontes superficiales tanto del Argiudol Típico como del Argiudol Páchico, lo que podría estar relacionado con la influencia que la materia orgánica ejerce sobre la movilidad de los óxidos y oxohidróxidos del suelo.
Los minerales ferromagnéticos, es decir, ferri- y antiferromagnéticos habitualmente presentes en los suelos son los óxidos de Fe: Fe_3O_4, γ-Fe_2O_3 y α-Fe_2O_3 y oxohidróxidos de Fe como α-FeOOH. Estos compuestos están dispersos en forma de partículas finas dentro de una matriz diamagnética (SiO_2, $CaCO_3$, materia orgánica y H_2O) y minerales paramagnéticos, tanto primarios como secundarios. Estos minerales paramagnéticos (Fe_{sil}) contribuyen de manera significativa al valor total de la susceptibilidad magnética, como se observa en la Tabla II y en la Tabla III.

CONCLUSIONES

La mayor cantidad del Fe presente está como forma no extractable, es decir, formando parte de la red cristalina de los aluminosilicatos.
El Fe_{DCB} que está asociado con la presencia de óxidos de Fe cristalinos, con recubrimientos amorfos y cristalinos que actúan como agentes cementantes y con α-FeOOH y α-Fe_2O_3 Al-substituídas fue la forma de Fe extractable de mayor importancia.
El comportamiento magnético de los suelos está determinado por la contribución de minerales ferri- y antiferromagnéticos dentro de una matriz diamagnética y paramagnética, por lo tanto, todos estos minerales intervienen en la medida de χ en campos pequeños. La medida de χ indicó una elevada concentración de materiales ferrimagnéticos en los horizontes superficiales.

AGRADECIMIENTOS

Las autoras desean expresar su agradecimiento al Dr. José Kostadinoff, del Área Geofísica del Departamento de Geología de la Universidad Nacional del Sur, por su colaboración en las mediciones de propiedades magnéticas.

REFERENCIAS

Acebal S.G., Rueda E.H. y Aguirre M.E., 1997. Extracción de las distintas formas de hierro presentes en un Haplustol Petrocálcico. Estudio comparativo de los métodos Ditionito-citrato-bicarbonato (DCB) y Ditionito-EDTA. *Agrochimica,* **XLI,** 3-4, 155.

Acebal S.G., Mijovilovich, A., Rueda E.H.,Aguirre M.A. and Saragovi C. 2000. Iron-oxide mineralogy of a Mollisol from Argentina: A study by selective dissolution techniques, X-ray diffraction and Mössbauer Spectroscopy. *Clays Clay Miner.,* **3**, 322-330.

Bartel A., Bidegain J.C. y Sinito A.M., 2005. Propiedades magnéticas de diferentes suelos del partido de La Plata, provincia de Buenos Aires. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, **60** (3):591-598.

Bógalo Román M.F., 2003. *Propiedades magnéticas de suelos de los Piedemonte Pliopleistocenos y de las terrazas cuaternarias de la península ibérica: implicaciones paleoambientales*. Tesis Doctoral. Universidad Complutense de Madrid. ISBN: 978-84-669-1563.2.

Chaparro M.A.E., Gogorza C.S.G., Chaparro M.A.E., Irurzun M.A. and Sinito A.M., 2006. Review of magnetism and heavy metal pollution studies of various environments in Argentina. *Earth Planets Space*, **58**, 1411-1422.

Gee G.W. and Bauder J.W., 1986. Particle size análisis. In *Methods of Soil Analysis. Part 1*. Physical and Mineralogical Methods (A. Klute, editor). Soil Science Society of America and American Society of Agronomy, Madison Wisconsin, USA.

Jackson M.L., 1982. *Análisis Químico de Suelos*, 4th. Edition. Omega. Barcelona.

McKeague J.A. and Day J.H., 1966. Dithionite and oxalate extractable Fe and Al as aids in differentiating various classes of soils. *J. Soil Sci*., **46**, 13.

Mehra O.P. and Jackson M.L., 1960. Iron oxide removal from soils and clays from dithionite-citrate system buffered with sodium bicarbonate, in *Proceeding of Seventh National Conference on Clays and Clay Minerals*. Pergamom Press. Washington D.C. 317-327.

Rueda E.H., Ballesteros M.C., Grassi R.L. and Blesa M.A., 1992. Dithionite as a dissolving reagent for goethite in the presence of EDTA and citrate. Applications to soil analysis. *Clays Clay Miner*., **40**, 575-585.

Sánchez R., Pezzola N. y Cepeda J.V., 1998. *Caracterización edafoclimática del área de influencia del INTA E.E.A. Hilario Ascasubi*. Boletín de divulgación Nº 18.

Schwertmann U., 1973. Use of oxalate for Fe extraction from soils. *J. Soil Sci*., **53**, 244.

Soil Survey Staff-USDA. 1999. Soil Taxonomy: A Basic System for Classifying Soils. *Agriculture Handbook* 436, 863 pp.

Summer M.E. and Miller W.P., 1996. Cation exchange capacity and exchange coefficients. In *Methods of Soil Analysis. Part 3. Chemical Methods* (D.L. Spark, editor). Soil Science Society of America and American Society of Agronomy, Madison Wisconsin, USA.

Zalba P., 1989. *Efectos del riego con agua salinizada sobre el suelo y los cultivos del valle Inferior del Río Colorado (Buenos Aires).* Tesis Magíster en Ciencias del Suelo. Universidad Nacional del Sur, Bahía Blanca, Argentina.

MONITOREO DE HUMEDALES FLUVIALES CON DATOS SAR Y SAR POLARIMÉTRICOS: EL CASO DE LA PLANICIE DE INUNDACIÓN DEL BAJO RÍO PARANÁ

Morandeira N. S.[a], *Grings F.*[b] *y Kandus P.*[a]

[a]*Laboratorio de Ecología, Teledetección y Ecoinformática, Instituto de Investigación e Ingeniería Ambiental, Universidad Nacional de San Martín, ARGENTINA*
[b]*Grupo de Teledetección Cuantitativa, Instituto de Astronomía y Física del Espacio, Universidad de Buenos Aires – Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas, ARGENTINA*

e-mail: nmorandeira@unsam.edu.ar

RESUMEN

Los principales humedales de Sudamérica están asociados a las planicies de inundación de los grandes ríos. Dada su extensión espacial e inundabilidad, la teledetección cobra importancia para evaluar su estado y dinámica. En un sector de la planicie de inundación del Bajo Río Paraná, analizamos la factibilidad del uso de datos satelitales SAR y SAR polarimétricos para discriminar ambientes de humedal. A diferencia de los datos ópticos, la señal SAR puede penetrar nubes y detectar agua debajo de la vegetación. Los datos fueron adquiridos con los sistemas ALOS/PALSAR-1 (Banda L) y RADARSAT-2 (Banda C) entre enero y abril de 2011. La vegetación herbácea fue clasificada en cinco grandes tipos funcionales que responderían diferencialmente a los cambios medioambientales. Para cada clase (tipos funcionales, suelo desnudo, agua), elaboramos predicciones sobre los mecanismos de interacción con la señal y las magnitudes de los parámetros de Cloude-Pottier. Analizamos separadamente cada escena (distintas frecuencias y/o ángulos de incidencia, distintas situaciones hidrométricas) con varios enfoques metodológicos (tipo de clasificación y polarizaciones incorporadas). El principal producto fue un mapa de ambientes (exactitud: 58.2%), según el cual las herbáceas latifoliadas ruderales eran las más abundantes. En un período de creciente del río Paraná, estimamos la proporción de la planicie inundada y la vegetación afectada. Debido a la importancia de la actividad ganadera en el área, los productos son de interés para relevar la distribución y dinámica de los recursos forrajeros. Elaboramos también un conjunto de recomendaciones para el uso de datos SAR en ambientes de humedales fluviales. Los resultados son una línea de base para evaluar futuros impactos en el área. Además, contribuyen a la elaboración de protocolos de inventario y monitoreo para la gestión y uso sustentable de los humedales.

INTRODUCCIÓN

Los humedales fluviales

Los humedales son ecosistemas que dependen de la ocurrencia de inundaciones, anegamiento o saturación constante o recurrente de la superficie. Por este motivo, son características las plantas hidrófitas con adaptaciones para tolerar la anoxia y para establecerse y desarrollarse en suelos hídricos (Keddy P., 2010). El régimen hidrológico es considerado, junto con el emplazamiento geomorfológico, un factor primario para su establecimiento y permanencia (Brinson M., 1993). En particular, el funcionamiento ecosistémico de los humedales fluviales está estrechamente asociado a los pulsos de inundación (Junk W.J. et al. 1989). En Sudamérica, existen grandes extensiones de humedales asociados a las planicies de inundación de los ríos Amazonas, Orinoco y Paraná (Neiff J.J. and Malvárez A.I., 1999). Dichos sistemas son altamente dinámicos y

productivos, pero también son muy vulnerables a las transformaciones por los cambios en el uso de la tierra (Brinson M. and Malvárez A.I., 2002) y al cambio climático global (IPCC, 2007). La extracción y el aprovechamiento de sus recursos naturales sustentan una gran diversidad de actividades productivas (Baigún C. et al., 2008). Además, de los humedales fluviales dependen funciones ecosistémicas de importancia para la sociedad, como la amortiguación de las inundaciones o el almacenaje y depuración de las aguas.

El uso de la vegetación como indicadora biológica de las condiciones ambientales puede ser de utilidad para monitorear el estado y los cambios del funcionamiento ecosistémico. En particular, es posible utilizar Tipos Funcionales de Plantas (TFP) como indicadores. Los TFP se definen independientemente de la taxonomía y son "conjuntos de especies que muestran similar respuesta al ambiente y que tienen similares efectos en el funcionamiento ecosistémico" (Díaz S. and Cabido M., 2001). En el Bajo Paraná, su presencia está asociada a las diferentes condiciones ambientales y posiblemente a regímenes de disturbio (Morandeira N., 2014).

La teledetección como herramienta de monitoreo ambiental

La teledetección a partir de datos satelitales permite monitorear el estado y la dinámica de los humedales fluviales de gran extensión y de difícil accesibilidad. Los datos provenientes de sensores remotos ópticos (sistemas pasivos que operan en las longitudes de onda del visible e infrarrojo cercano) son los de mayor disponibilidad y, por lo tanto, también son los más utilizados para el mapeo de coberturas vegetales en general y de humedales en particular. Sin embargo, en zonas dominadas por macrófitas (plantas vasculares herbáceas) suele haber un alto grado de confusión entre tipos de humedales, debido principalmente a la saturación de la señal por la alta biomasa.

Los sensores de microondas activos, también conocidos como radares o SAR ("Synthetic Aperture Radar"), aportan datos de gran utilidad para la detección y discriminación de tipos de humedales y para la evaluación de las áreas inundadas (Henderson F.M. and Lewis A.J., 2008; Silva T.S.F. et al. 2008). Debido a su longitud de onda, la señal SAR puede penetrar varios centímetros o decenas de centímetros y detectar la presencia de agua debajo de la vegetación o en capas subsuperficiales del suelo, lo que constituye una gran ventaja frente a otro tipo de datos satelitales.

Los sistemas SAR emiten una onda electromagnética polarizada en una orientación (generalmente horizontal (H) o vertical (V)), de una determinada frecuencia y con un determinado ángulo de incidencia. Luego, miden cuánta de esa energía regresa al sensor en una dada polarización (generalmente H o V) tras interactuar con las coberturas terrestres. El coeficiente de retrodispersión relaciona la potencia retrodispersada con la potencia emitida. Se puede expresar para distintas combinaciones de polarizaciones emitidas y recibidas (primera y segunda letra, respectivamente: HH, HV, VH, VV). Su valor dependerá del tipo y potencia de la señal emitida por el radar, y de la interacción con la estructura (arquitectura de la vegetación, rugosidad del suelo, ondulación del agua) y propiedades dieléctricas del blanco (relacionada principalmente con la humedad) (Silva T.S.F. et al., 2008). Así, distintos mecanismos de interacción contribuirán al coeficiente de retrodispersión (ver Fig. 1).

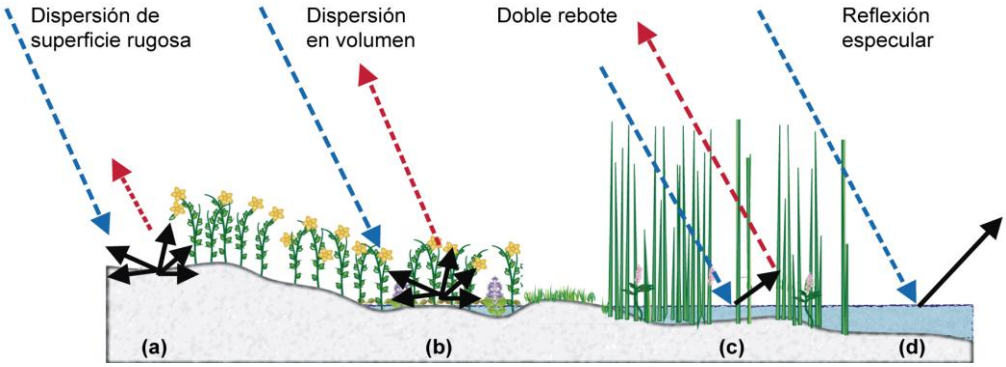


Figura 1. Representación esquemática de los mecanismos de interacción entre la señal de radar y el terreno en humedales. Nótese que en los sistemas SAR los haces inciden desde un costado. **(a)** Dispersión de superficie rugosa, típica de suelo desnudo. **(b)** Dispersión en volumen, típica de vegetación vigorosa con tallos y hojas dispuestos al azar. **(c)** Doble rebote, típico de estructuras verticales con una película de agua. **(d)** Reflexión especular, típica de agua con baja rugosidad.

Un tipo particular de sistemas SAR son los sensores polarimétricos, de los cuales puede extraerse información de todas las combinaciones de polarizaciones emitidas y recibidas y generar polarizaciones hipotéticas a partir de matrices que contienen información compleja de intensidad y fase (Lee J.-S. and Pottier E., 2009). Recién desde 2006 (puesta en órbita del sistema ALOS/PALSAR-1) es mayor la disponibilidad de los datos SAR polarimétricos. Por ello, es relativamente escasa la experiencia sobre extracción de información y clasificación de este tipo de datos en ambientes naturales y en particular en humedales (Touzi R. et al. 2009). Un paso crítico para implementar esquemas de monitoreo en humedales con datos satelitales es profundizar el conocimiento de la relación entre la señal registrada por los sensores y los parámetros biofísicos del terreno. Dado que la señal SAR interactúa con características estructurales de la vegetación, la respuesta sería distinta en áreas dominadas por distintos TFP (asociados a conjuntos de rasgos estructurales y funcionales). Así, sería posible estimar a escala de paisaje la expresión espacial de los TFP, como base para caracterizar o predecir las respuestas al ambiente y los efectos sobre el funcionamiento ecosistémico de la vegetación.

Objetivos

Nuestro principal objetivo fue discriminar áreas dominadas por diferentes TFP en un sector de humedales de la planicie de inundación del Bajo Río Paraná. Evaluamos la exactitud de mapas obtenidos con datos SAR y SAR polarimétricos de Banda C (RADARSAT-2; frecuencia 5.405 GHz y longitud de onda 5.6 cm) y de Banda L (ALOS/PALSAR-1; frecuencia 1.27 GHz y longitud de onda 23.6 cm). Las escenas de Banda C eran de dos ángulos de incidencia contrastantes. Ante un evento de inundación, usamos escenas polarimétricas de Banda C (de dos ángulos de incidencia) y L para analizar los cambios en los mecanismos de interacción como base para estimar qué áreas se inundaron y qué TFP fueron afectados.

MÉTODOS

Sitio de estudio

En nuestro país, cerca del 23% del territorio incluye humedales (Kandus P. et al. 2008). Los sistemas de humedales fluviales asociados a la cuenca del Paraná-Paraguay se destacan por su magnitud, la biodiversidad que albergan, sus funciones ecosistémicas, los recursos naturales y las actividades productivas que sustentan (Baigún C. et al.,

2008). El presente trabajo se realizó en un sector representativo de la planicie de inundación del Bajo Río Paraná frente a la localidad de Ramallo (ver Fig. 1). El clima es templado húmedo. La planicie de inundación está constituida por geoformas derivadas de un complejo litoral desarrollado en los últimos 6,000 años, actualmente con un relieve suave y plano. El área está sujeta a pulsos de inundación estacionales determinados por el Río Paraná. La ganadería es la actividad principal y, en menor medida, la apicultura y la pesca artesanal.

Clases de vegetación a discriminar

La vegetación dominante es herbácea y los bosques apenas ocupan el 1.5% de la superficie de la zona estudiada (Enrique C., 2009). Las comunidades vegetales están dominadas por pocas especies distribuidas con un patrón de zonación (Morandeira N., 2014). La vegetación fue relevada en 42 sitios del área durante los veranos 2010-2011 y 2011-2012. Las especies dominantes fueron clasificadas en TFP usando un enfoque inductivo basado en la presencia de rasgos estructurales-funcionales (Boutin C. and Keddy P., 1993; Morandeira N., 2014). La presencia de un determinado TFP da cuenta de determinadas condiciones ambientales (edáficas e hidrológicas) y posiblemente podría asociarse a los regímenes de disturbio (Morandeira N., 2014). Nos propusimos entonces discriminar áreas dominadas por cinco TFP, así como suelo desnudo (asociado a corrales o a alto tránsito de ganado) y cuerpos de agua. Para una descripción de las principales características de los TFP, ver Tabla I. Las estrategias de vida ruderal, competidora o tolerante al estrés se corresponde con el esquema CSR de Grime J.P. (1977) modificado para humedales por Menges E. and Waller D. (1983).

Adquisición de escenas SAR y pre-procesamiento

Adquirimos tres escenas para un nivel hidrométrico relativamente bajo y otras tres escenas para un nivel hidrométrico relativamente alto. Las escenas eran RADARSAT-2 (Banda C) y ALOS/PALSAR-1 (Banda L). Para fechas cercanas, consideramos que las diferencias observadas se debían a las frecuencias (C o L) o a los ángulos de incidencia (más verticales (entre 24º y 27.8º) o más rasantes (entre 38º y 43.5º). Exceptuando la escena ALOS/PALSAR-1 de nivel hidrométrico bajo, todas las escenas eran polarimétricas. Para conocer en qué fecha se adquirieron las escenas, sus características y las condiciones hidrológicas en que fueron adquiridas, ver Fig. 3. El pre-procesamiento se realizó en los software desarrollados por la European Space Agency: PolSARpro para las escenas polarimétricas y NEST para la escena de polarización simple HH. El pre-procesamiento consistió en: (a) Detección y multilooking; (b) Calibración radiométrica; (c) Geocodificación (sin utilizar un modelo digital del terrero por ser un área llana); (d) Filtro adaptativo Lee (para quitar el ruido speckle y disminuir la incerteza radiométrica); (e) Extracción de las polarizaciones HH ó HH, HV, VH y VV en intensidad y transformación a decibeles. Para las imágenes polarimétricas, extrajimos la matriz compleja T3 (de coherencia), a partir de la cual realizamos las descomposiciones y clasificaciones descriptas a continuación.

Tabla I. Caracterización de los tipos funcionales de plantas y predicción de los mecanismos de interacción.

Tipo Funcional de Planta		**A**	**B**	**C**	**D**	**E**
Tipo morfoecológico		Hierbas equisetoides	Hierbas latifoliadas		Hierbas graminoides	
Fisionomía		Juncales	Praderas de latifoliadas bajas	Praderas de latifoliadas altas	Pastizales bajos	Pastizales altos y pajonales
Altura de las plantas		140 - 250 cm.	< 150 cm (mayoría: < 80 cm).	150 - 250 cm.	< 50 cm.	50 - 150 cm.
Biomasa verde aérea		290 - 2330 $g.m^{-2}$	250 - 1320 $g.m^{-2}$	370 - 1390 $g.m^{-2}$	110 - 620 $g.m^{-2}$	100 - 3340 $g.m^{-2}$
Distribución de la biomasa verde aérea		Biomasa distribuida en tallos cilíndricos orientados verticalmente.	Biomasa distribuida en pocas hojas latifoliadas grandes La biomasa total es independiente de la altura de la planta.	Biomasa distribuida en muchas hojas latifoliadas pequeñas. La biomasa total aumenta con la altura de la planta.	Biomasa distribuida en las láminas de las hojas.	Biomasa distribuida en las láminas de las hojas, en las vainas y en los tallos.
Características funcionales		Competidoras fuertes en posiciones topográficas bajas, generalmente inundadas. Perennes y clonales. Regeneración rápida. Vía fotosintética C3.	Ruderales en positions topográficas bajas, generalmente inundadas o con suelo saturado y con alta fertilidad. Perennes y clonales. Vía fotosintética C3.	Ruderales o competidoras medias, en posiciones topográficas altas o bajas. Anuales y clonales. Vía fotosintética C3.	Tolerantes al estrés (por salinidad o sequía) o ruderales, en posiciones topográficas altas o medias. Perennes y clonales. Mayormente vía fotosintética C4	Ruderales (o tolerantes al estrés por salinidad, *Leptochloa fusca*), en posiciones topográficas bajas o medias. Anuales o perennes y clonales. Vías fotosintéticas C3 o C4.
Contribución predicha de los mecanismos de interacción	Dispersión en volumen	Media	Media	Alta	Baja	Media-Alta
	Dispersión de superficie rugosa	Nula	Nula	Nula	Baja-Alta	Nula
	Doble-rebote	Media-Alta	Nula	Nula	Nula	Baja

Nivel hidrométrico bajo: discriminación de Tipos Funcionales de Plantas

Clasificaciones de una polarización o de múltiples polarizaciones

La clasificación más sencilla que realizamos es aquella que no utiliza la información polarimétrica (información compleja de intensidad y fase). Realizamos clasificaciones no supervisadas (es decir, independientes de datos de campo o de "entrenamiento" por el usuario) con la polarización HH de la escena ALOS/PALSAR-1 y con un stack de las polarizaciones HH, HV (HV = VH) y VV de las escenas RADARSAT-2. El algoritmo usado fue ISODATA (Ball G.H. and Hall D.J., 1995).

Descomposiciones polarimétricas y esquemas de clasificación

Las descomposiciones polarimétricas permiten extraer parámetros sintéticos de las matrices complejas y, así, mejorar la interpretación de la enorme cantidad de información que dichas matrices contienen. En las escenas RADARSAT-2, realizamos una descomposición que permite extraer la entropía (H), la anisotropía (A) y el ángulo α (Cloude S.R. and Pottier E., 1997). Graficamos la posición de los píxeles de cada escena

según los de H y α. Luego, dividimos el plano H/α en 8 zonas (ver Fig. 4(a) y 4(c)). Para interpretar las zonas, consideramos que H aumenta con el azar y la anisotropía geométrica de los retrodispersores (vegetación más desordenada), mientras que α varía con el mecanismo de interacción dominante (α bajo para dispersión de superficie, α medio para dispersión en volumen y α alto para doble rebote o superficies dihédricas).

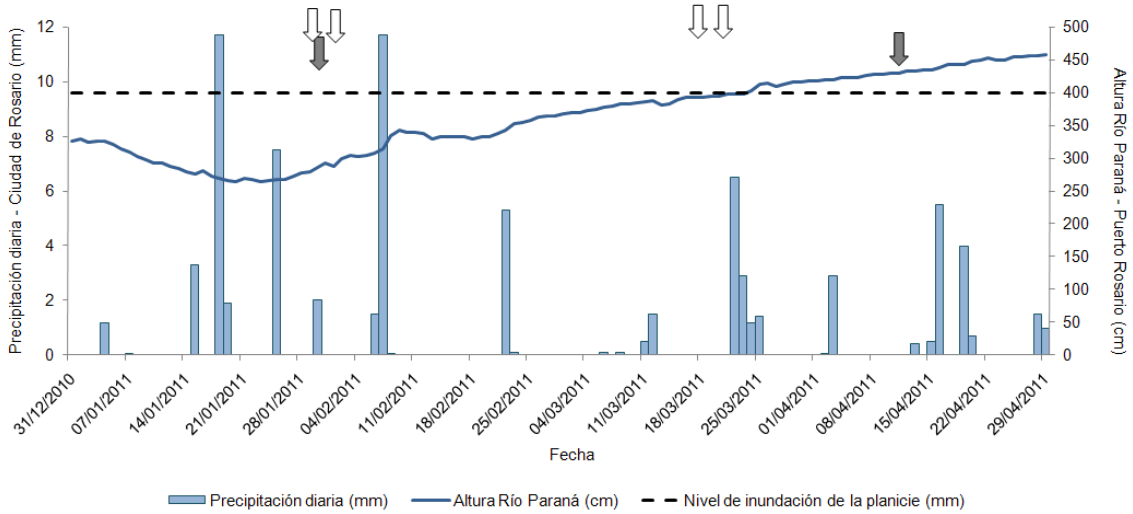


Figura 3. Fecha de adquisición de las imágenes SAR (flechas) y condiciones hidrológicas (barras: precipitación diaria en la estación del Aeropuerto de la ciudad de Rosario; línea sólida: altura del río Paraná en la estación hidrométrica del puerto de Rosario). La línea punteada indica el nivel a partir del cual la planicie del río Paraná comenzaría a inundarse según Salvia et al. (2012). Las flechas en tonos de blanco indican adquisiciones del sistema RASARDAT-2 (Banda C), mientras que las flechas en tonos de gris indican adquisiciones ALOS PALSAR (Banda L). En orden de adquisición, las imágenes son: a) RADARSAT-2 Polarimétrica de fecha 30/01/2011 y ángulo de incidencia promedio 43.5º; b) ALOS/PALSAR-1 Polarización HH de fecha 31/01/2011 y ángulo de incidencia promedio 38°; c) RADARSAT-2 Polarimétrica de fecha 02/02/2011 y ángulo de incidencia promedio 27.8º; d) RADARSAT-2 Polarimétrica de fecha 19/03/2011 y ángulo de incidencia promedio 43.5º; e) RADARSAT-2 de fecha 22/03/2011 y ángulo de incidencia promedio 27.8º; f) ALOS/PALSAR-1 Polarimétrica de fecha 11/04/2011 y ángulo de incidencia promedio 24º.

A partir de los centroides de las zonas de la segmentación H/α clasificamos la matriz de coherencia T3 con un enfoque estadístico Wishart (Lee J.-S. et al., 1999). Con este enfoque realizamos clasificaciones supervisadas (con 55 muestras de entrenamiento) y no supervisadas. Para las segundas, asignamos cada clase obtenida a la clase que queríamos discriminar teniendo en cuenta los siguientes criterios. Consideramos que el agua tenía bajo H y bajo α, y que el suelo tenía valores intermedios de H (más altos cuanto más seco estuviera el suelo) y bajo α. El TFP A fue asignado a una clase con H medio o alto y α alto debido a la interacción de doble rebote (ver Tabla I). Los restantes TFP, con α medio, se ordenaron en valores crecientes de H de acuerdo a su biomasa, al azar en la distribución de la biomasa y a la dispersión en volumen predicha (Tabla I): TFP D < TFP E < TFP B < TFP C. Para las clases con H > 0.90, realizamos un procedimiento progresivo teniendo en cuenta otra clasificación Wishart que partió del espacio H/A/α (16 clases). De este modo, analizamos si la discriminación de los TFP con alta biomasa mejora al incorporar la anisotropía, relacionada con el grado de desorden de los retrodispersores (Lee J.-S. and Pottier E, 2009).

Evaluación de exactitud

Analizamos la exactitud de las clasificaciones en 55 sitios de muestreo. Por la limitada cantidad de sitios de muestreo, sólo pudimos evaluar la exactitud de las clasificaciones

no supervisadas. Estimamos la exactitud total y el índice Kappa (Cohen J.A., 1960). Para las clasificaciones polarimétricas RADARSAT-2, también expresamos la exactitud observada como proporción de la exactitud obtenida con la clasificación ISODATA a partir de las múltiples polarizaciones (sin usar la información polarimétrica).

Nivel hidrométrico alto: detección de áreas inundadas

Para las tres escenas, realizamos clasificaciones no supervisadas Wishart. Describimos las clases obtenidas en términos de la contribución al coeficiente de retrodispersión de los mecanismos de interacción de Freeman-Durden (Freeman A. and Durden S.L., 1998). Consideramos que las áreas inundadas podrían tener reflexión especular (agua por sobre la vegetación emergente) o bien retrodispersión de doble rebote (agua debajo de la vegetación). Evaluamos los cambios entre las clases resultantes en aguas bajas y en aguas altas para las escenas de igual frecuencia y semejante ángulo de incidencia.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Nivel hidrométrico bajo

La clasificación ISODATA obtenida con la escena ALOS/PALSAR-1 tuvo muy baja exactitud (Tabla II). En cuanto a las escenas RADARSAT-2 polarimétricas, debido al predominio de retrodispersión en volumen, la mayoría de los pixeles tenían valores altos de H ($H>0.80$) e intermedios de α ($30º<\alpha<50º$) (ver Fig. 4). En consecuencia, la segmentación del plano H/α en 8 zonas resultó insuficiente para discriminar los TFPs y el suelo desnudo. Asimismo, las clasificaciones Wishart supervisadas no fueron satisfactorias (no se muestran) debido al alto grado de pixelado que es inconsistente con el patrón de zonación de la vegetación del área. Las clasificaciones Wishart no supervisadas relocalizaron los centroides de la segmentación, de modo tal que la mayor parte de las clases se reubicaron hacia valores de alta H y alto α (Fig. 4). Al considerar la anisotropía en el procedimiento de clasificación progresivo, reasignamos algunos píxeles de la escena de ángulo de incidencia rasante desde la clase B a las clases TFP A o TFP C. En cambio, considerar la anisotropía no mejoró la discriminación de TFP en la escena de ángulo vertical.

En los mapas obtenidos (ver Fig. 5) se observa el patrón de zonación de la vegetación típico de la vegetación de la región. El patrón espacial de las clases obtenidas en las clasificaciones de escenas RADARSAT-2 con diferente ángulo de incidencia fue coincidente en un 36.2 %. El producto obtenido con la escena de ángulo de incidencia rasante tenía mayor exactitud que el obtenido con un ángulo más vertical (Tabla II). Esto se debería a que la señal emitida con un ángulo de incidencia más rasante interactúa más con la vegetación que la señal emitida con un ángulo más vertical, por lo cual detectaría más diferencias entre los TFP (Henderson & Lewis, 2008). De acuerdo a los índices Kappa, las clasificaciones eran más exactas que lo esperado por azar. En ambas escenas se observó una mejoría en la exactitud de las clasificaciones Wishart respecto a las clasificaciones con las polarizaciones HH, HV y VV. Es decir, la inclusión de la información polarimétrica contenida en la matriz de coherencia T3 aporta información de utilidad para la discriminación de los TFPs.

Los productos mejoran los mapas preexistentes para la zona, los cuales fueron realizados a escala global o de la región del Delta del Paraná con datos ópticos y sobreestiman la superficie ocupada por bosques (28.2 % (Salvia M.M., 2010) y 55.2 %

(Friedl M.A. et al., 2002) del área total, frente al 1.5 % descripto por (Enrique C., 2009)). En el mapa realizado con el ángulo de incidencia rasante (Fig. 4(a)), el 33.8 % del área total fue clasificada como TFP C, i.e. corresponde a humedales con herbáceas latifoliadas altas, con estrategia ruderal o de competidoras medias. Los humedales con herbáceas de hoja latifoliada (TFP B y C) cubrían el 50.5 % del área de estudio (55.8 % si se excluye el agua). Considerando los TFP B, C y E, las estrategias ruderales dominan en el 69.9 % de la superficie (77.3 % excluyendo el agua). Las plantas ruderales otorgarían al sistema mayor capacidad de respuesta a los disturbios. Por ejemplo, las ruderales podrían regenerarse rápidamente entre dos eventos de inundación leves.

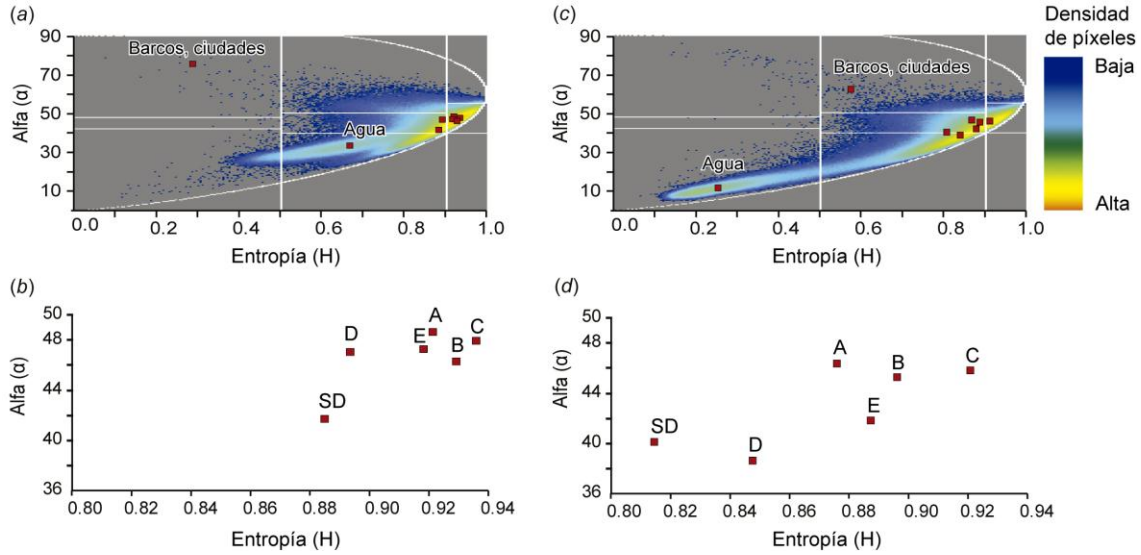


Figura 4. Ubicación de los centroides de las clasificaciones no supervisadas Wishart en el espacio H/α, para las escenas RADARSAT-2 de aguas bajas. **(a)** Escena de ángulo de incidencia rasante (43.5º). Densidad de píxeles en el espacio H/α (dividido en nueve zonas por líneas blancas). **(b)** Escena de ángulo de incidencia rasante (43.5º). Detalle de los centroides de las clases suelo desnudo y TFP. **(c)** Escena de ángulo de incidencia vertical (27.8º). Densidad de píxeles en el espacio H/α. **(d)** Escena de ángulo de incidencia vertical (27.8º). Detalle de los centroides de las clases suelo desnudo y TFP.

Tabla II. Exactitud de las clasificaciones no supervisadas Wishart (sobre las escenas polarimétricas RADARSAT-2) e ISODATA (sobre la escena ALOS/PALSAR-1).

Exactitud	RADARSAT-2 PLR, 43.5º, 30/01/2011		RADARSAT-2 PLR, 27.5º, 02/02/2011		ALOS/PALSAR-1 HH, 38º, 31/01/2011	
	Con clase Agua	Sin clase Agua	Con clase Agua	Sin clase Agua	Con clase Agua	Sin clase Agua
Exactitud global	58.20%	51.20%	46.20%	51.20%	27.30%	17.40%
Índice Kappa	50.70%	40.80%	45.30%	40.80%	16.80%	3.41%
Mejoría respecto a clasificación no polarimétrica	30.20%	9.20%	14.20%	9.20%	NC	NC

Nivel hidrométrico alto

Con las tres escenas detectamos cambios en la planicie debidos a la inundación (ver Fig. 6). Los nombres de las clases se corresponden con las contribuciones de los mecanismos de interacción de Freeman-Durden. Las clases presuntamente inundadas son: Agua-1 (reflexión especular en cuerpos de agua permanentes), Agua-2 (reflexión especular en la planicie), Agua-3 (reflexión especular en la planicie, bajos doble rebote y dispersión en

volumen), DR-1 (doble rebote alto, dispersión en volumen alta) y DR-2 (doble rebote alto, dispersión en volumen media). Las clases presuntamente no inundadas son: S (dispersión en superficie rugosa), V-1 (dispersión en volumen alta), V-2 (media-alta), V-3 (media-baja), V-4 (baja).

La proporción de área inundada detectada varía tanto con la frecuencia como con el ángulo de incidencia. Según las escenas RADARSAT-2 (Banda C), el 49.3% del área total estaba inundada según lo detectado con un ángulo de incidencia rasante y el 52.9% estaba inundado según un ángulo vertical. Es decir, el ángulo vertical permite una mayor detección del agua debido a la menor interacción con la vegetación emergente. En el caso de la escena ALOS/PALSAR-1 (Banda L) de ángulo vertical, la proporción detectada como inundada fue de 62.5%. Esta estimación es conservativa, ya que puede suceder que la clase S sea de dispersión en la superficie rugosa del agua (en tal caso, la estimación del área inundada aumentaría a 72.5%). En síntesis, la Banda L tiene mayor penetración y detecta más agua debajo de la vegetación, como fuera señalado por Henderson y Lewis (2008) para bosques inundables. En todos los casos, las áreas inundadas correspondían principalmente al TFP C.

CONCLUSIÓN

Los escenas SAR polarimétricas, resultaron apropiadas para caracterizar la vegetación herbácea de un humedal fluvial. Su capacidad de penetrar la vegetación permitió detectar áreas inundadas, aún aquellas con vegetación emergente o flotante. La elección de la frecuencia y ángulo de incidencia dependerá de los objetivos. Para discriminar tipos de vegetación, resulta más adecuada la Banda C que la L y los ángulos de incidencia rasantes que los verticales. Si es de interés monitorear inundaciones, es recomendable una frecuencia chica y un ángulo de incidencia vertical. Las clasificaciones polarimétricas fueron más exactas que las no polarimétricas. Por lo tanto, es recomendable adquirir este tipo de escenas (disponibles para RADARSAT-2 y para el sistema de reciente lanzamiento ALOS/PALSAR-2). Desde el 2016 habrá escenas polarimétricas del sistema satelital argentino SAOCOM (Banda L). Entre los clasificadores Wishart, los supervisados resultaron menos convenientes y requirieron más información inicial. En cambio, los no supervisados se basaron en un esquema conceptual a partir de predicciones sobre los mecanismos de interacción de cada TFP. En trabajos futuros, esperamos aumentar la exactitud final combinando escenas de distintas características. Destacamos la ventaja de utilizar un enfoque funcional, gracias al cual detectamos la dominancia de la estrategia ruderal, con capacidad de respuesta a los disturbios. Los resultados obtenidos son de utilidad en el marco del Inventario Nacional de Humedales y proveen experiencia sobre aplicaciones SAR de interés en el marco del Plan Espacial Nacional de CONAE. Los mapas obtenidos pueden considerarse una línea de base para evaluar el efecto de disturbios naturales o antrópicos (ejemplo: diques, fuego, ganadería) o del cambio climático global.

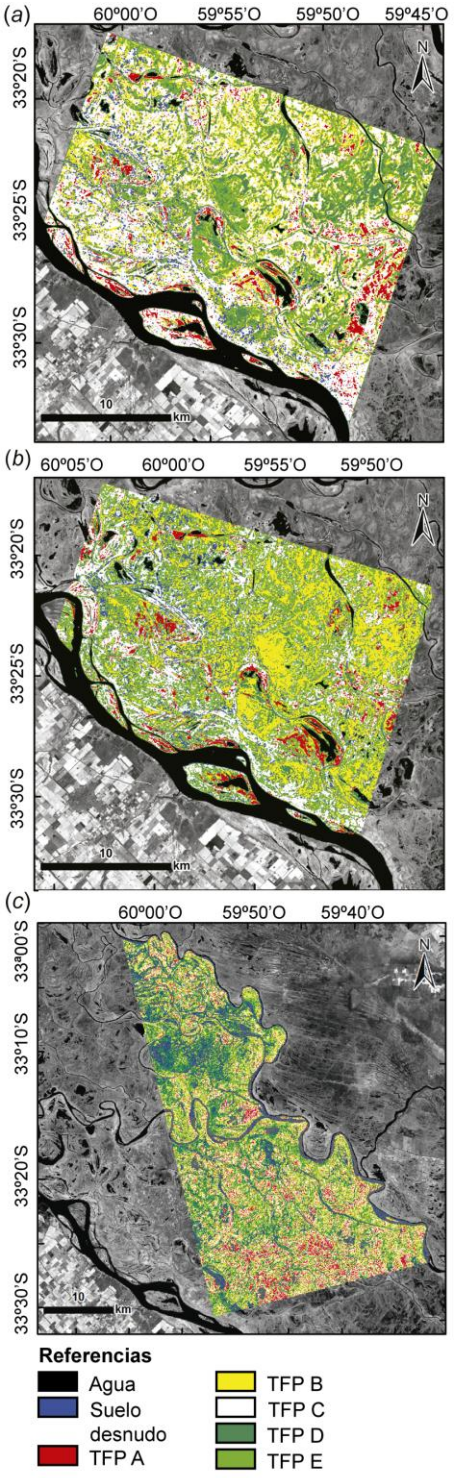


Figura 5. Nivel hidrométrico bajo. Clasificaciones no supervisadas (se muestra el producto más exacto de cada escena). **(a)** Escena polarimétrica RADARSAT-2 de ángulo de incidencia rasante, clasificación Wishart. **(b)** Escena polarimétrica RADARSAT-2 de ángulo de incidencia vertical, clasificación Wishart. **(c)** Escena HH ALOS/PALSAR-1 de ángulo de incidencia rasante, clasificación. Para detalles de las clases de TFP ver Tabla 1.

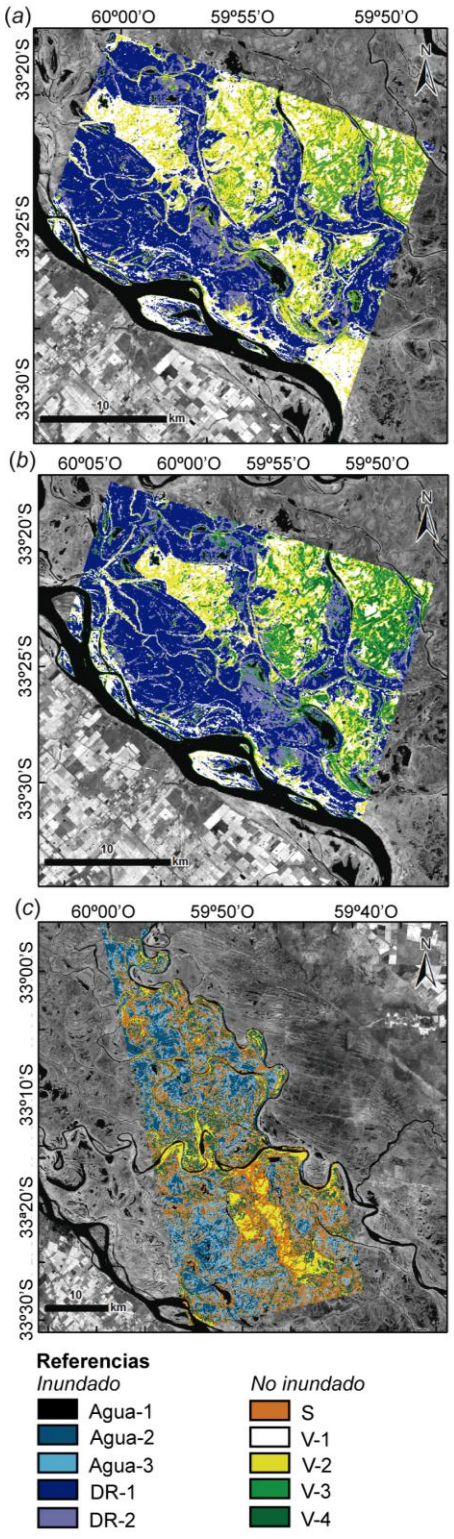


Figura 6. Nivel hidrométrico alto. Clasificaciones no supervisadas Wishart. **(a)** Escena RADARSAT-2 de ángulo de incidencia rasante. **(b)** Escena RADARSAT-2 de ángulo de incidencia vertical. **(c)** Escena ALOS/PALSAR-1 de ángulo de incidencia vertical. En las referencias, DR indica doble rebote, V indica dispersión en volumen y S indica dispersión en superficie rugosa. Para más detalles, ver el texto.

AGRADECIMIENTOS

El trabajo presentado integra la tesis doctoral de N. S. Morandeira (Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Buenos Aires, 2014). El proyecto (trabajo de campo y adquisición de imágenes) fue financiado por la Comisión Nacional de Actividades Espaciales (AO SAOCOM Nº 22), la Agencia Nacional de Promoción Científica y Tecnológica (PICTO-CIN I Nº 22) y la Canadian Space Agency. N. S. Morandeira contó con una beca de postgrado de CONICET. Mercedes Salvia colaboró durante el procesamiento de las imágenes SAR. Juan Nazar y la familia Bello nos facilitaron el acceso a los sitios de muestreo. Colaboraron en tareas de campo: M. Borro, M. Schoo, S. Varela, F. Schivo, M. R. Derguy, M. S. Erario, A. Falthauser, C. Hernando, F. Baronetti, M. Lanfiutti y V. Pacotti.

REFERENCIAS

Baigún C., Puig A., Minotti P.G., Kandus P., Quintana R.D., Vicari R.L., … Nestler J.A. 2008. Resource use in the Parana River Delta (Argentina): moving away from an ecohydrological approach? *Ecohydrology & Hydrobiology*, ***8***(2-4), 245–262.

Ball G.H. and Hall D.J. 1995. *ISODATA, a novel method of data analysis and pattern classification*. Menlo Park, California.

Boutin C. and Keddy P.A. 1993. A functional classification of wetland plants. *Journal of Vegetation Science*, ***4***, 591–600.

Brinson M.M. 1993. *A hydrogeomorphic classification for wetlands*. Washington, DC, United States: Biology Department, East Carolina University.

Brinson M.M. and Malvárez A.I. 2002. Temperate freshwater wetlands: types, status, and threats. *Environmental Conservation*, ***29***(2), 115–133.

Cloude S.R. and Pottier E. 1997. An entropy based classification scheme for land applications of polarimetric SAR. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, ***35***(1), 68–78.

Cohen J.A. 1960. A coefficient of agreement for nominal scales. *Educational and Psychological Measurement*, ***20***(1), 213–220.

Díaz S. and Cabido M. 2001. Vive la différence: plant functional diversity matters to ecosystem processes. *Trends in Ecology and Evolution*, ***16***(11), 646–655.

Enrique C. 2009. *Relevamiento y caracterización florística y espectral de los bosques de la Región del Delta del Paraná a partir de imágenes satelitales.* Tesis de grado en Ciencias Biológicas. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Buenos Aires.

Freeman A. and Durden S.L. 1998. A three-component scattering model for polarimetric SAR data. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, ***36***(3), 963–973.

Friedl M.A., McIver D.K., Hodges J.C.F., Zhang X.Y., Muchoney D., Strahler A.H., … Schaaf C. 2002. Global land cover mapping from MODIS: algorithms and early results. *Remote Sensing of Environment*, ***83***(1-2), 287–302.

Grime J.P. 1977. Evidence for the existence of three primary strategies in plants and its relevance to ecological and evolutionary theory. *The American Naturalist*, ***111***, 1169–1194.

Henderson F.M. and Lewis A.J. 2008. Radar detection of wetland ecosystems: a review. *International Journal of Remote Sensing*, ***29***(20), 5809–5835.

IPCC. 2007. Summary for Policymakers. In: Solomon S., Qin D., … Chen Z. (Eds.), *Climate change 2007: The physical. Contribution of Working Group I to thte fourth assessment report of the Intergovermental Panel on Climate Change* (pp. 1–18). Cambridge University Press. Cambridge (UK), New York (US).

Junk W.J., Bayley P.B. and Sparks R.E. 1989. The flood pulse concept in river-floodplain systems. *Canadian Special Publication of Fisheries and Aquatic Sciences*, ***106***(1), 110–127.

Kandus P., Minotti P. and Malvárez A.I. 2008. Distribution of wetlands in Argentina estimated from soil charts. *Acta Scientiarum Biological Sciences*, ***30***(4), 403–409.

Keddy P.A. 2010. *Wetland ecology: principles and conservation* (2nd ed., p. 497). Cambridge University Press. Cambridge, United Kingdom.

Lee J.-S., Grunes M.R., Ainsworth T.L., Du L.-J, Schuler D.L. and Cloude S.R. 1999. Unsupervised classification using polarimetric decomposition and the complex Wishart classifier. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, ***37***(5), 2249–2258.

Lee J.-S. and Pottier E. 2009. *Polarimetric radar imaging: from basics to applications* (p. 398). CRC Press, Boca Raton, Florida, United States.

Menges E. and Waller D. 1983. Plant strategies in relation to elevation and light in floodplain herbs. *The American Naturalist*, ***122***(4), 454–473.

Morandeira N.S. 2014. *Tipos funcionales de plantas en humedales de la planicie de inundación del Bajo Río Paraná (Entre Ríos , Argentina) y su observación con datos polarimétricos de radar*. Tesis de Doctorado. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Buenos Aires. http://digital.bl.fcen.uba.ar/Download/Tesis/Tesis_5490_Morandeira.pdf

Neiff J.J. and Malvárez A.I. 1999. El régimen de pulsos en ríos y grandes humedales de Sudamérica. In: Malvárez A.I. (Ed.), *Tópicos sobre humedales subtropicales y templados de Sudamérica* (pp. 99–150). UNESCO, Montevideo, Uruguay.

Salvia M.M. 2010. *Aporte de la teledetección al estudio del funcionamiento del macrosistema Delta del Paraná: Análisis de series de tiempo y eventos extremos.* Tesis de Doctorado. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Buenos Aires.

Salvia M.M., Grings F.M., Barraza V., Perna P., Karszenbaum H. and Ferrazzoli P. 2012. Active and passive microwave systems in the assessment of flooded area fraction and mean water level in the Paraná River floodplain. *Proceedings of the 12th Specialist Meeting on Microwave Radiometry and Remote Sensing of the Environment (MicroRad)* (pp. 1–4).

Silva T.S.F., Costa M., Melack J.M. and Novo E.M.L.M. 2008. Remote sensing of aquatic vegetation: theory and applications. *Environmental Monitoring and Assessment*, ***140***: 131-145.

Touzi R., Deschamps A. and Rother G. 2009. Phase of target scattering for wetland characterization using polarimetric C-Band SAR. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, ***47***(9), 3241–3261.

Este trabajo participa en el "Concurso Jóvenes Investigadores".

ESTIMACION DE CAUDALES MAXIMOS DEL RIO LIMAY

Ostertag G [a,b]., Frassetto F.[b], Alvarez H.[c]

[a] Departamento de Geografía, Facultad de Humanidades,Universidad Nacional del Comahue, ARGENTINA
[b]Autoridad Interjurisdiccional de las Cuencas de los ríos Limay Neuquén y Negro, ARGENTINA
[c]Departamento de Producción, Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional del Comahue, ARGENTINA

e-mail: griostertag@gmail.com

RESUMEN

Este trabajo presenta una metodología para la estimación de caudal máximo medio diario a partir de pronósticos de precipitaciones y temperatura sobre la cuenca activa del Río Limay.

Se realizó un estudio del comportamiento del caudal del río Limay como respuesta a diferentes variables climáticas que intervienen en el aporte de agua a la cuenca, mediante un análisis de regresión, utilizando el caudal máximo diario para un determinado período de tiempo como variable de respuesta; y la lluvia, las temperaturas, la nieve y la duración del sistema precipitante como variables explicativas.

Los datos hidrometeorológicos considerados se obtuvieron de diferentes estaciones en la cuenca activa del Río Limay.

Los resultados de la evaluación estadística muestra que la condición de la cuenca antes de las precipitaciones, a través del caudal inicial, define la participación de las distintas variables en la estimación final del caudal máximo del período a estimar, debido a la importancia que tiene el aporte del Lago Nahuel Huapi como regulador natural del caudal del río Limay. Con caudales mínimos, condición de déficit o estiaje, la intensidad y duración de las lluvias es más relevante. A medida que aumenta el caudal inicial, (condición media a húmeda de la cuenca), participan otras de variables meteorológicas en la explicación del escurrimiento como la temperatura del sistema precipitante, la ocurrencia o no de nevadas y la intensidad de las lluvias.

Palabras Claves: Caudal, Lluvia, Nieve, Temperatura, Limay.

INTRODUCCIÓN

Se analizan las principales variables meteorológicas que caracterizan el clima en los Andes Patagónicos con el objetivo de desarrollar una metodología para la estimación de caudales máximos diarios a partir de pronósticos meteorológico sobre la cuenca activa del Río Limay.

El objetivo principal de este trabajo es generar un modelo que interprete el comportamiento de las variables hidrometeorológicas, para determinar el caudal máximo medio diario probable (Qmax) en el entrante al embalse Alicura (Paso Flores), a partir del pronóstico cuantitativo de precipitaciones y temperaturas diarias en determinadas estaciones de la cuenca como variable de entrada.

Contar con un modelo hidrológico operativo permite evaluar y tomar decisiones sobre la intensidad y las consecuencias de los eventos hidrometorológicos que afectan la cuenca del Río Limay. Con un pronóstico cuantitativo de las variables climáticas que explican el escurrimiento es posible la evaluación de la respuesta de los caudales, facilitando la previsión y emisión de alertas ante la estimación de eventos extraordinarios.
El uso operativo de estos modelos a través de Instituciones gubernamentales permite el manejo de gestión de riesgo hídrico sobre las zonas pobladas o con desarrollos productivos en el área de escurrimiento de la cuenca.
A partir de la construcción de las represas hidroeléctrica, 1970 aproximadamente, profesionales de la empresa Hidronor S.A. y otros organismos nacionales y provinciales han desarrollado distintas metodologías para la previsión de derrames en la cuenca del río Limay.
En el "Estudio de la Red Hidrometeorológica de la Provincia del Neuquén" (Prof. Em. Dr José A.J. Hoffman, 1988) se analizan las condiciones hidroclimáticas del territorio neuquino en base a los datos observacionales, teniendo en cuenta la calidad del dato y la representatividad de las estaciones hidrometeorológicas. Conceptualizaciones claras que colaboraron en la elección de las estaciones y datos de este trabajo.
El "Inventario de los Recursos Hídricos Provinciales de cuencas sin Información de Caudales" (Malinow y otros, 1987) se evaluó y caracterizo la disponibilidad del recurso hídrico en cuencas donde se cuenta con escasa información hidrológica.
Con respecto a la metodología de análisis, en "Diseño Hidrológico" (Fattorelli, Sergio y Fernández, Pedro, 2007) hacen un análisis de los métodos estadísticos de Correlación simple y Múltiple como práctica usada en hidrología para establecer la asociación entre dos o más variables, donde la variación de una de ellas explica en parte la variación de la otra.
A partir de los años 90 en la Autoridad Interjurisdiccional de las Cuencas de los ríos Limay, Neuquén y Negro se realizan pronósticos meteorológicos cuantitativos para la estimación del volumen de las precipitaciones y cálculo de caudales en tiempo real. (Ostertag y Frassetto, 1998) Cuencas de los ríos Limay, Neuquén y Negro: Pronósticos Meteorológicos- Evaluación de Área Nevada – Informes Hidrometeorológicos, XVII Con agua, Santa Fe, Argentina.
La información para el desarrollo de este modelo fue obtenida del Sistema de evaluación e información hidrometeorológica –SIEH- de la base de datos de la Autoridad Interjurisdiccional de Cuencas.

Asimismo, el estudio detallado de los antecedentes históricos de eventos extremos de caudales en la cuenca, el análisis de las tormentas maximizadas propias de la cuenca y su proyección se encuentra en "Estudio de crecida máxima probable para el Río Limay" (Seone y otros, 2002).

El sistema IHMS, desarrollado por el Instituto Sueco de Meteorología e Hidrología (SMHI) es un modelo conceptual para el cálculo continuo de caudales, operativo en la Autoridad Interjurisdiccional de Cuencas para la estimación semanal de caudales. Este modelo se compone de una serie de subrutinas que tienen en cuenta: acumulación y fusión de la nieve, evaluación de la humedad del suelo, generación del escurrimiento, procedimientos de propagación del caudal por el cauce.

AREA DE ESTUDIO

El área considerada en este estudio comprende las subcuencas del Lago Nahuel Huapi, Lago Traful, río Traful, las nacientes del río Limay hasta el embalse Alicura, ver Fig.1.

La cuenca activa del río Limay, ubicada en el Noroeste de los Andes Patagónicos en el norte de la Patagonia, (entre 40º/41.5º S y 71º/72º W) da origen al rio Limay, uno de los afluentes principales junto con el río Neuquén, de la Cuenca del Río Negro.

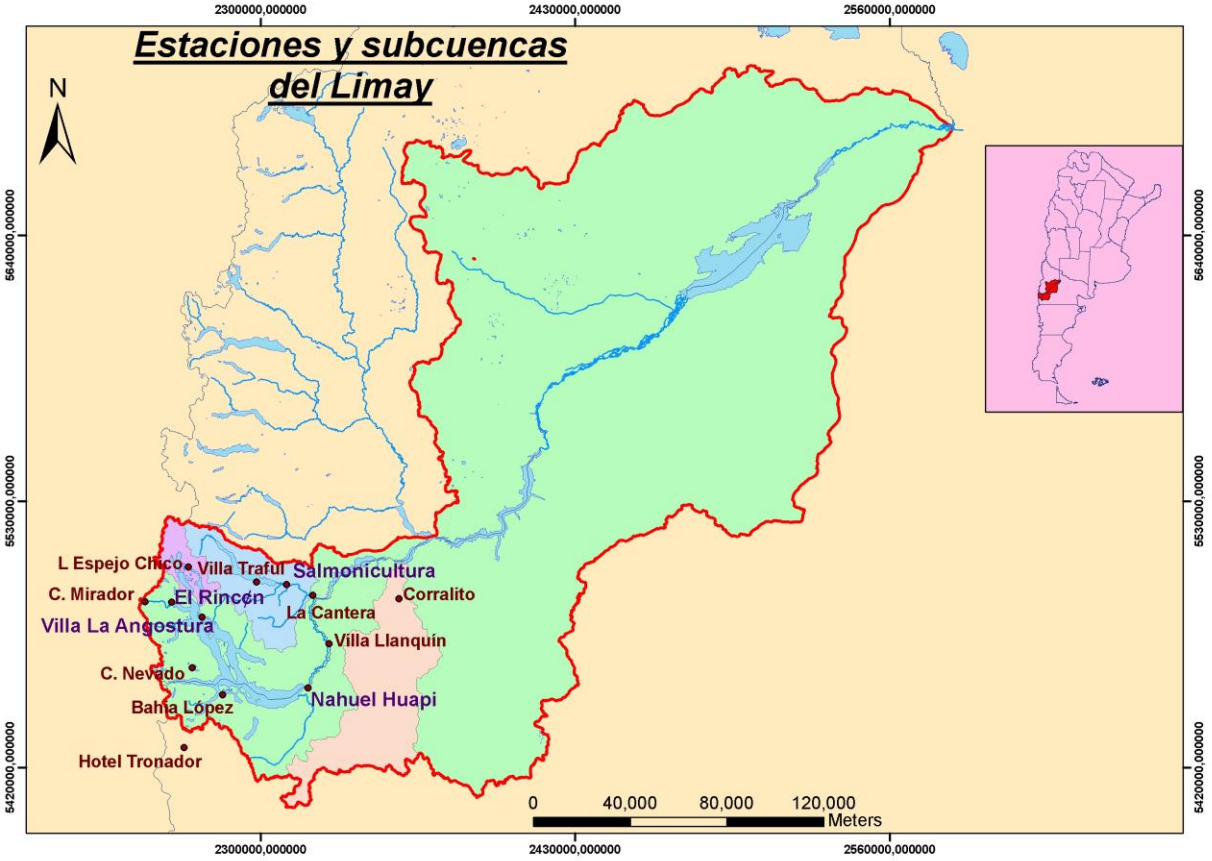


Figura 1-Cuenca del Río Limay, ubicación geográfica.



Figura 2 - Norte de la Patagonia - El área delimitada es el área de estudio, nacientes del río Limay.

METODOLOGÍA Y DATOS

Se considera cuenca activa, al área de montaña receptora de las precipitaciones que aportan agua al sistema del río Limay desde la divisoria de agua, en alta montaña, límite con Chile, hasta el entrante al embalse Alicurá hacia el este. El mecanismo atmosférico asociado al Anticiclón del Pacífico Sur, y la actividad de frentes fríos en latitudes medias contribuyen al aporte de humedad que provocan las lluvias orográficas sobre la Cordillera de los Andes.
La cuenca del río Limay, tiene un clima estacional, con lluvias y nevadas invernales, templado y más seco en verano. Las precipitaciones alcanzan los 5000mm anuales en alta montaña, disminuyendo hacia el este, con 300mm anuales aproximadamente en el entrante al embalse Alicurá. La acumulación nival máxima en la cuenca oscila en los 1500 mm de equivalente de agua nieve (EAN) a comienzos de la primavera en los años de máxima acumulación y 400 mm EAN, los años de aporte nival escaso o pobre.
Las principales variables incluidas en el análisis son: precipitaciones (lluvia y nieve), temperaturas diarias, número de días de lluvia y estado inicial de la cuenca a partir del caudal inicial al momento de ocurrir las precipitaciones.
Para un análisis integral de la cuenca se consideraron registros hidrometeorológicos de estaciones de medición distribuidas desde alta montaña hasta la zona de menor precipitación al este de la cuenca. El período de análisis es desde mayo de 1985 hasta agosto de 2005.

Tabla I-Estaciones de medición, abreviatura, coordenadas geográficas y variable que se considera en el análisis.

Estación		**Lat. S**	**Long O**	**Altitud**	**Variables**
Villa La Angostura	VLA	40 46 57	71 39 25	770	- Precipitación - Temperatura
Cerro Nevado	CN	40 58 15	71 42 55	1834	- Nieve (EAN)
Cerro Mirador	CM	40 43 8	71 56 6	1250	- Nieve (EAN)
Salmonicultura	SLM	40 40 16	71 14 28	790	- Precipitación
La Cantera	LC	40 42 48	71 06 46	712	- Caudales
Rincón de Creide	RC	40 53 43	71 02 26	740	- Caudales

En la tabla I y en la figura 3 se presenta la ubicación de las estaciones de medición de las que se consideraron los datos para la evaluación estadística. Las Estaciones CM y CN son estaciones de altura, y se han usado las series nivológicas de ambas con los datos de equivalente de agua nieve. VLA, se encuentra en cotas más bajas, pero en las cabeceras de la cuenca, por lo que la acumulación de precipitaciones es representativa del área de mayor acumulación pluvial, de esta estación se utilizaron datos de precipitación y temperatura. Las estaciones SML, LC y RC, son estaciones ubicadas en las cotas más bajas, a la salida de los lagos, las precipitaciones son de

menor intensidad y de menor frecuencia y las temperaturas más altas, de ellas se consideró información de precipitación y caudales.



Figura 3-Cuenca Activa del Río Limay - Localización de las Estaciones Hidrometeorológicas representativas y usadas en el análisis de datos.

Considerando las características climáticas de los distintos sistemas frontales que pueden afectar el área de estudio y su incidencia directa en el escurrimiento de los caudales, los datos se separaron en casos, cada caso es un sistema precipitante desde el día que comienzan las lluvias hasta la finalización de las mismas.

Se consideró la suma de las precipitaciones de las estaciones representativas de la cuenca, la ocurrencia o no de nevadas durante el evento y la temperatura en superficie a partir de las estaciones de medición.

El análisis y clasificación de la información meteorológica permite observar la incidencia de temperatura en las estimaciones para determinados valores de caudales diarios. Es interesante observar los rangos de temperaturas a los cuales la acumulación en forma de nieve tiene el efecto de retención de los escurrimientos en la cuenca y aquellas temperaturas que favorecen los escurrimientos directos.

Separando por ocurrencia o no de nevadas, temperaturas, y comienzo y finalización de las lluvias, se agruparon los datos teniendo en cuenta la duración de la tormenta (sistema frontal) en días identificando como un período de lluvias continuo, que varían de 1 a 10 días aproximadamente, dependiendo de la intensidad del sistema frontal.

Se obtuvieron de esta manera 256 casos de análisis en un período de 20 años, a cada uno de los cuales se le asociaron las siguientes variables:

N: número de días del caso.
SalPPmed: Precipitación media diaria del período en SLM
SalPPmín: Precipitación mínima diaria del período en SLM
SalPPmáx: Precipitación máxima diaria del período en SLM
SalPPsuma: Suma de la precipitación diaria del período en SLM
VLA PPmed: Precipitación media diaria del período en VLA

VLA PPmín: Precipitación mínima diaria del período en VLA
VLA PPmáx: Precipitación máxima diaria del período en VLA
VLA PPsuma : Suma de la precipitación diaria del período en VLA
Total PP: Suma de la precipitación diaria del período en (VLA + SLM)
TMAX med: Promedio de Temperatura máxima diaria del período en VLA
TMAX mín : Mínima Temperatura máxima diaria del período en VLA.
TMAXmáx : Máxima Temperatura máxima diaria del período en VLA
TMEDmed: Promedio de Temperatura media diaria del período en VLA
TMEDmín: Mínima Temperatura Media diaria del período en VLA
TMEDmáx: Máxima Temperatura media diaria del período en VLA
TMINmed: Promedio de Temperatura media diaria del período en VLA
TMINmín: Mínima Temperatura Mínima diaria del período en VLA
TMINmáx: Máxima Temperatura máxima diaria del período en VLA
SumaEANmed: Suma del EAN de (Cerro Mirador + Cerro Nevado), y luego el promedio
SumaEANmín: Mínimo valor de la suma del EAN de ambos sitios.
SumaEANmáx: Máximo valor de la suma del EAN de ambos sitios.
Qi: Caudal medido el día del inicio de las lluvias en la Estación Flores*
Qmax: Caudal Máximo del período, en Paso Flores
Qmedio: Caudal Medio del período, en Paso Flores
DifQ: (Qmax - Qi), en Paso Flores
* Actualmente la serie de Caudales de Paso Flores es el resultado de la suma La Cantera + Rincón de Creide, y representa el caudal del entrante al Embalse Alicura.

Para reflejar la situación inicial de la cuenca, su estado hidrológico desde el punto de vista de la humedad disponible en el sistema, se agruparon los casos de acuerdo a su caudal inicial, formando distintos grupos de tratamiento estadístico (ver tabla 1) y se obtuvieron 43 casos de tipo 1, 60 casos de tipo 2, 65 de tipo 3, 62 casos de tipo 4 y 18 casos de tipo 5 y 8 casos tipo 6.
Con esta información se realizó una regresión múltiple con cada grupo de CASOS Para modelar el comportamiento. Se incluyeron como premisa las variables Xi que aportan información significativa buscando el mejor modelo con el menor número posible de variables(Xi).
Se obtuvieron ecuaciones para estimar el caudal máximo diario provocado por un sistema frontal, con determinadas características climáticas, para los rangos de caudal presentados en Tabla II.

Tabla II - Grupos de tratamiento estadístico de acuerdo al Caudal en Paso Flores al inicio de la tormenta. Caudal Inicial (Qi) y cantidad de casos por tipo (N) utilizados.

Tipo	Qi	N casos
1	<100 m^3/seg.	**43**
2	(100 m^3/seg,200 m^3/seg).	**60**
3	(200 m^3/seg-300 m^3/seg).	**65**
4	(300 m^3/seg-400 m^3/seg).	**62**
5	(400 m^3/seg-500 m^3/seg).	**18**
6	Qi>500 m^3/seg	**8**

Con la aplicación de un software estadístico se realizó un análisis de regresión múltiple, aplicando el método de selección de variables, a partir del cual se va construyendo el modelo, por agregación de variables selectivamente elegidas de entre las potenciales variables predictoras.

RESULTADOS

Para cada tipo se obtuvo una ecuación y definieron distintas asociaciones explicativas de las variables que a continuación se detallan:

Tabla III – Ecuaciones resultantes para cada tipo (rango de caudales)

TIPO	ECUACION
Qi<100 m^3/seg	Qmax = 6,752+(D*-1,362)+(PPT*0,405)+(Qi*0,931)
Qi entre 100-200 m^3/seg	Qmax = -4,72064+(Qi*0,99494)+(PPT*0,3556)
Qi entre 200-300 m^3/seg	Qmax = -39,337+(Qi * 1,09810)+(PPT*0,3955)
Qi entre 300-400 m^3/seg	Qmax = -18,720+(Qi*0,9623)+(PPT*0,6057)
Qi entre 400-500 m^3/seg	Qmax = -132,65+(PPT*0,734)+(TTM*15,0029)+(D*-16,5585)+(QiLC*-1,2786)+(QiRC *-1,0507)
Qi>500 m^3/seg -	Qmax = -90,6210+(Qi*2,3182)+(PPT*0,734)+(TTM*15,0029) +(D*-16,5585)+(QiLC*-1,2786)+(QiRC*-1,0507)

K: Constante
D: número de días de precipitaciones
PPT: precipitación total (suma de VLA + SLM)
Qi: el caudal al inicio del frente en Alicura (suma de LC + RC)
TMM: Temperatura Mínima Media en VLA
QiLC: el caudal al inicio del frente en La Cantera - río Traful
QiRC: el caudal al inicio del frente en Rincón de Creide - río Limay
TMMX: Temperatura Máxima Media en VLA

A partir de caudales mayores a 400 m3/seg, participa en el cálculo de estimación de caudal máximo la temperatura y los caudales de las dos cuencas por separado de los lagos Traful y Nahuel Huapi, como variables explicativas en el aporte al rio Limay.
Los sistemas frontales con una componente de aire frío tienen una porción importante de la precipitacion total en forma de nieve, que no aporta al escurrimiento directo en la cuenca. Si lo hace en el período de fusión cuando las temperaturas aumentan tanto en los valores máximos como mínimos.
Luego de un período de acumulación de nieve en cotas bajas, condiciones templadas y la ocurrencia de precipitaciones intensas se produce un aumento en el escurrimiento directo con fusión de nieve no medida en estaciones de alta montaña.
No se analizaron en este estudio las situaciones de aumento del caudal por fusión de nieve en período de primavera. Solo se tuvieron en cuenta para el análisis los casos de

ingreso de sistemas frontales que provocaron precipitaciones, diferenciando por la ocurrencia de nieve o no nieve.
En la siguiente tabla se muestran los resultados de las regresiones para cada situación de Caudal Inicial Qi, las variables intervinientes y los coeficientes que participan de cada ecuación.
El mejor coeficiente $\mathbf{R^2}$ obtenido es **0,99** para el tipo 6 (Qi>500 m^3/seg) y es donde interviene la mayor cantidad de variables en la explicación del caudal resultante. Coincide que es el tipo con menor número de casos (8)
El coeficiente $\mathbf{R^2}$ de menor confiabilidad 0,69, corresponde al tipo 2 (100 m^3/seg,200 m^3/seg), en el cual intervinieron 60 casos y las variables que explican el caudal resultantes son el Qi (Caudal Inicial) y la Precipitaciones Total.
El modelo refleja que a medida que el caudal aumenta, es mayor el número de variables que lo explican. En caudales bajos solo intervienen el Qi (Caudal Inicial) y la Precipitaciones Total, mientras que en Caudales superiores a 400m3/seg, participan en la estimación: el número de días de lluvia, la temperatura y los aportes de afluentes por separado, o sea La Cantera y Rincón de Creide en forma independiente.

Tabla 4 - Resultados del Modelo de Regresión para cada situación de caudal inicial contemplada.

Variables	Coeficientes
Constante	-6,75200
Días	-1,36200
PP Total	0,40500
Qi	0,93100

PRONOSTICO DE CAUDAL MAXIMO DEL FRENTE (Qmax) PARA Qi < 100			
		Q max	
Días	1		(N=43 R^2=0,87 Error Std: 15,08)
PP Total	60	90,7	
Qi	80		

Variables	Coeficientes
Constante	4,72064
Qi	0,94940
PP Total	0,35561

PRONOSTICO DE CAUDAL MAXIMO DEL FRENTE (Qmax) PARA Qi 100-200			
		Q max	
Qi	100		(N=60 R^2=0,69 Error Std: 23,3)
PP Total	300	206,3	

	Coeficientes
Constante	-39,33700
Qi	1,09810
PP Total	0,39550

PRONOSTICO DE CAUDAL MAXIMO DEL FRENTE (Qmax) PARA Qi 200-300			
		Q max	
Qi	270		(N=65 R^2=0,847 Error Std: 22,4)
PP Total	170	324,4	

	Coeficientes
Constante	-18,72000
Qi	0,96230
PP Total	0,60570

PRONOSTICO DE CAUDAL MAXIMO DEL FRENTE (Qmax) PARA Qi 300-400			
		Q max	
Qi	490		(N=62 R^2=0,83 Error Std: 35,0)
PP Total	4	455,2	

Variable	Coeficientes
Constante	-90,62110
Qi	2,31820
PP Total	0,73400
TMIN med	15,0029
Duración	-16,5585
LaC Qi	-1,2786
RC Qi	-1,0507

PRONOSTICO DE CAUDAL MAXIMO DEL FRENTE (Qmax) PARA Qi 400-500			
		Q max	
Qi	490		(N=18 R^2=0,86 Error de est: 31,3)
PP Total	4	478,3	
TMIN med	0		
Duración	1		
LaC Qi	86		
RC Qi	422		

Variable	Coeficientes
Constante	-132,65000
PP Total	1,03000
TMAX med	18,31400
TMIN med	16,789
Duración	-25,286
LaC Qi	0,762
RC Qi	1,185

PRONOSTICO DE CAUDAL MAXIMO DEL FRENTE (Qmax) PARA Qi >500			
		Q max	
PP Total	104		(N=8 R^2=0,99 Error de est: 1,07)
TMAX med	2	391,4	
TMIN med	-2		
Duración	6		
LaC Qi	86		
RC Qi	422		

CONCLUSIONES

El análisis de las precipitaciones a partir de eventos frontales en el área de estudio, en el período 1985/2005 y su relación con los caudales salientes en la cuenca del río Limay clasificados por intervalos de creciente magnitud, permite tener una herramienta rápida de decisión para conocer la respuesta de la cuenca a diferentes escenarios de

precipitaciones y temperaturas derivados de pronósticos a corto y mediano plazo. Los años estudiados contienen tanto períodos hidrológicos extremos de sequía como los períodos1989/90, 1996/97 y 98/99 como así también períodos húmedos con crecidas importantes en la cuenca como los períodos 1993/94, 1997/98 , 2001/02 y 2002/03, entre otros.

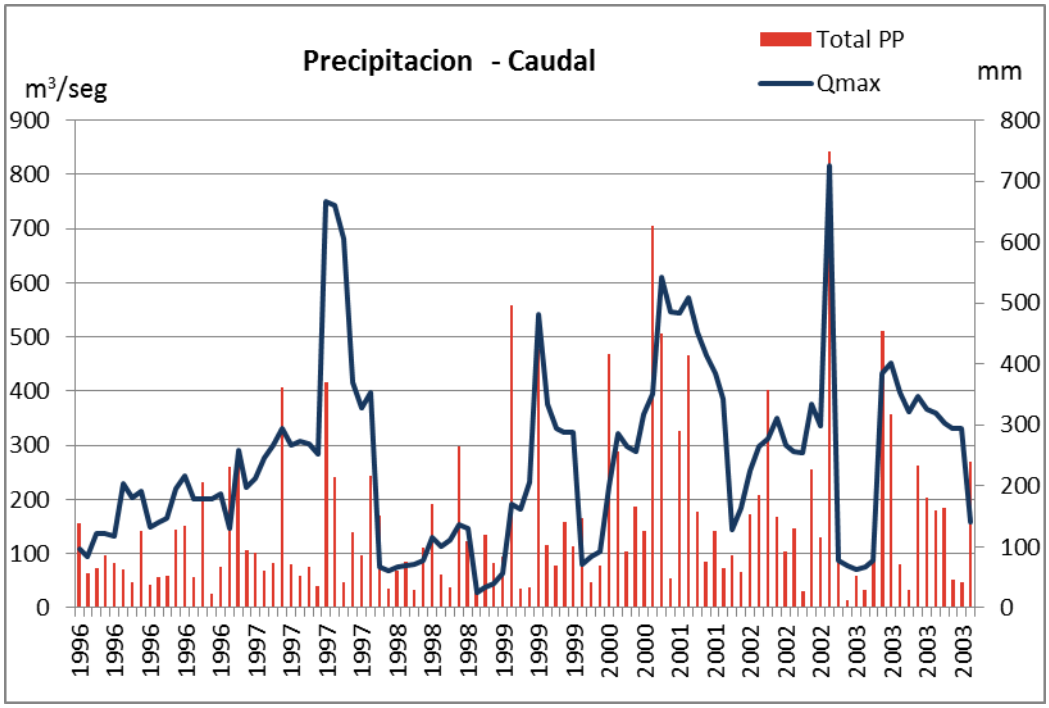


Gráfico1 - Suma de la precipitación total y Caudal máximo de cada caso.

La relación entre las precipitaciones y caudales máximos queda de manifiesto en el Gráfico 1, en los años 1997, 2000, 2001 con lluvias acumuladas superiores a 300 mm se observa la respuesta de los caudales. Mientras que años como 1996 y 1998 el déficit de las lluvias se refleja el escurrimiento.

Evaluar el impacto de un sistema de precipitaciones en todo su desarrollo con la estimación de la distribución diaria y el total probable de precipitación y su impacto en el caudal máximo diario de la cuenca mejora la habilidad de los pronósticos y es una herramienta para la toma de decisión alternativa a los modelos hidrológicos mas complejos en la decisión de las alertas tempranas y manejo de la gestión de riesgo. Entre los escenarios variados con que nos podemos encontrar, surgen enseguida las condiciones en la salida del estiaje, con caudales mínimos, en la evaluación de los escurrimientos de las lluvias otoñales y la comparación con aquellos frentes que históricamente han provocado importantes crecidas al comienzo del período hidrológico. En estos casos el Qi refleja la salida de la estación seca del verano con los bajos niveles de acumulación subterránea, condición de humedad de los suelos y el nivel del Lago Nahuel Huapi. Las lluvias totales de cada frente otoñal y su relación con los intervalos de Qi permite evaluar las posibilidades entre la transición del período de almacenaje de la cuenca y el comienzo de los escurrimientos normales estacionales.

Otro ejemplo del uso operativo de esta herramienta se desarrolla dentro de los meses de invierno y primavera. Los Ríos Limay junto con el río Collón Cura tiene a lo largo de trayectoria hasta la desembocadura en el Río Negro una cadena de embalses, Alicurá,

Piedra del Aguila y El Chocon entre otros. En períodos húmedos como los años 2001 y 2002 por ejemplo, con alto nivel de ocupación de los embalses, y caudales altos en la cuenca del Limay y CollonCurá por la ocurrencia de precipitaciones intensas por encima de lo normal en durante el período otoño/invierno, es importante la evaluación simultanea de los frentes de lluvia y los volúmenes de derrame resultantes en la cuenca para los cálculos preliminares de manejo de embalses en toda la región. En esta condiciones el Qi, en los rangos más altos no solo resume el estado húmedo y saturado de la cuenca como el alto nivel del Lago Nahuel Huapi, sino también la necesidad de ofrecer variables adicionales en el pronóstico de lluvias y temperaturas en toda la cuenca. En este sentido el modelo refleja en sus resultados el impacto de las lluvias en la superficie mas baja de la cuenca, es decir en las áreas aguas debajo de las salida de los lagos y que provoca un rápido aumento de los escurrimientos directos y mayor variabilidad diaria en los caudales diarios, especialmente en la subcuenca del Lago Traful, como así tambien, los aportes de subcuencasmas extensas y caudales ocasionalmente altos con frentes de lluvias intensas y con una amplia distribución de precipitaciones en toda la cuenca. Ejemplo es la subcuenca del río Pichileufu con caudales que se estiman en la estación Corralito. Sistemas precipitantes de estas características ofrecen otro aspecto importante a tener en cuenta en la estimación de caudales máximos. Luego de períodos fríos con gran acumulación nival en toda la superficie de la cuenca, el análisis de las temperaturas por parte del modelo en las subcuentas Huapi/Traful junto a las lluvias, resume en el resultado los escurrimientos rápidos debido a la fusión por lavado de nieve ascenso de la temperatura junto con lluvias en niveles medios y bajos de la cuenca.

REFERENCIAS

Fattorelli, Sergio y Fernández Pedro, 2007. *Diseño Hidrológico*. Zeta Editores, Mendoza, Argentina.

Hoffman, José; 1988. *Estudio de la Red Hidrometeorológica de la Provincia del Neuquén*. Administración Provincial del Agua, Provincia de Neuquén. Argentina.

Malinow, Guillermo y otros, 1987. *Inventario de los Recursos Hídricos Provinciales de cuencas sin Información de Caudales*. Dirección general de Recursos Hídricos, Provincia de Neuquén. Argentina.

Ostertag, Griselda y Frassetto, Fernando, 1998. *Cuencas de los ríos Limay, Neuquén y Negro: Pronósticos Meteorológicos, Evaluación de Área Nevada, Informes Hidrometeorológicos*. Anales XVII Congreso Nacional del Agua Tomo I, 308-311, Santa Fe, Argentina.

Seone y otros, 2002. *Estudio de crecida máxima probable para el Río Limay*, Instituto Nacional del Agua. Buenos Aires. Argentina.

Swedish Meteorological and Hydrological Institute, *IHMS Integrated Hydrological Modelling System*. Version 4.5.

AUTODEPURACIÓN, ACUMULACIÓN DE CONTAMINANTES E IMPACTO EN ZONAS URBANAS PERIFÉRICAS: UNA MIRADA DESDE LOS ESTUDIOS AMBIENTALES

Porzionato N.[a], Martiñan M.[b], Bussi E.[b], Grinberg S.[b] Gutierrez R.[c] y Curutchet G.[a]

[a]Instituto de Investigaciones e Ingeniería Ambiental y Escuela de Ciencia y Tecnología. UNSAM.
[b] Escuela de Humanidades. UNSAM.
[c]Escuela de Politica y Gobierno. UNSAM.
San Martín, Provincia de Buenos Aires, Argentina.

e-mail: gcurut@gmail.com

RESUMEN

Este trabajo propone debatir las tensiones involucradas en procesos de contaminación y autodepuración en el espacio urbano, atendiendo especialmente al estudio de arroyos que atraviesan la urbe metropolitana en gran parte de su recorrido entubados y salen a cielo abierto en aquellos espacios urbanos que concentran altos niveles de pobreza y contaminación ambiental. Se trata de zonas urbano periféricas, hasta hace 30 años humedales y campos, que se transformaron en espacios densamente poblados y escasamente urbanizados.

El barrio Cárcova, donde se realiza este trabajo, ubicado en el área José León Suárez del partido de General San Martín. El barrio está atravesado por un tramo del canal José León Suarez. Este canal desde aguas arriba arrastra una carga de contaminantes producto de descargas cloacales e industriales y, seguidamente, recibe en el barrio los aportes de los desagües domésticos. Contrariando las hipótesis que señalan que estos barrios son los principales productores de contaminación de la urbe, se propone aquí que justamente ocurre lo contrario: en el trayecto en que el canal discurre por el barrio, el agua se limpia y los sedimentos acumulan los contaminantes. De forma tal que los cursos de agua que atraviesan estos barrios ofician como plantas depuradoras de la metrópolis.

En este trabajo se ha efectuado un estudio de los diferentes aportes de carga orgánica contaminante al agua del canal en el tramo en estudio, su atenuación a lo largo del canal y la incorporación de contaminantes a los sedimentos. Se encontró una gran capacidad de autodepuración del agua superficial, fundamentalmente a partir de procesos de sedimentación y adsorción. De esta manera la carga contaminante queda acumulada en los sedimentos donde se estabiliza lentamente a partir de procesos anaeróbicos. Se estudiaron además los riesgos implicados en el manejo de los sedimentos y la utilización de los mismos procesos estudiados en posibles herramientas de remediación mediante su aplicación en condiciones controladas.

INTRODUCCIÓN

Los procesos de contaminación de arroyos y ríos ubicados a la vera de las ciudades han sido desde el siglo XVI una cuestión clave de los procesos de urbanización que muy rápidamente devinieron en contaminación. Los casos de las urbes europeas como el Támesis, el Sena y otros que atraviesan las ciudades de ese continente son los más conocidos. La ciudad de Buenos Aires no constituye excepción alguna y muy tempranamente la contaminación del hoy "emblemático" Riachuelo no se haría esperar: una vez instalados los primeros saladeros en la ciudad la cuestión comenzaría a ser tibia

preocupación. Si estos procesos son comunes a la urbe no lo son las formas en que se han dado respuesta a esos. De hecho es posible identificar diversas y en algunos casos también contrapuestas respuestas. Cinco siglos después nos encontramos en las metrópolis, aunque no sólo pero sí especialmente del sur global, con procesos similares y, desde ya cada vez más decantados, que aún en el presente no han conseguido respuestas muy diferentes a las de antaño. Pero también y por ello más grave los efectos de aquellas decisiones afectan la vida contemporánea.

Así, y, en especial en la región metropolitana de Buenos Aires el entubamiento de arroyos ha sido, y, sigue siendo, una de las prácticas más habituales. Esta práctica del tratamiento de los ríos, consistente básicamente en taparlos construyendo sobre la llanura de inundación, ha generado un sinnúmero de consecuencias que van desde las inundaciones que si bien no obedecen *strictu sensu* a ellas sí están vinculadas. Algo similar ha ocurrido con la rectificación de ríos limitando la capacidad de depuración que los cauces naturales tienen o tenían al disminuir drásticamente el tiempo de tránsito de las aguas. Estas prácticas que otrora involucraban arrojar la contaminación hacia afuera en nuestras sociedades contemporáneas nos dejan habitando en ciudades rodeadas por un afuera que ya está dentro.

Asimismo, ese afuera, aquellas perfierias urbanas que en el siglo XIX se pensaban asechando las ciudades, actualmente, presentan un panorama bastante más complejo. Por un lado permanecen y se pueblan a diario, especialmente en las llanuras de inundación de ríos y arroyos, los barrios más empobrecidos de la metropolis. Las marcas de lugar de este poblamiento pueden rastrearse como palimpsesto hacia el siglo XIX pero en el presente se agudizan en virtud de diversos aspectos que pueden sintetizarse en los acelerados crecimientos de la urbe que desde el fines del siglo ha generado procesos de cada vez mayor precarización, hacinamiento y degradación ambiental de estos espacios urbanos que caracterizan a las metrópolis del sur global. Seguidamente, en esas periferias se han ido instalando y urbanizando, en forma paralela, barrios privados que no dejan de tener diversos vasos comunicantes con estas otras urbanizaciones prácticamente opuestas. Levantamiento de cotas, redireccionamiento de cauces, entre otras, funcionan como represas que protegen a unos y fragilizan a otros. En ambos casos comparten una geografía donde para ambos lados aquello que constituía decimonónicas aguas afuera en el siglo XXI se volvió aguas dentro generando nuevos problemas aunque no siempre nuevas respuestas.

Los reclamos de entubamiento de arroyos siguen siendo una de las respuestas de la ingeniería sanitaria urbana más comunes que si bien parece constituirse en la solución más sencilla trae consigo diversos efectos que, en general, se traducen en aumento de la contaminación tanto de los barrios de los arroyos que se entuban como de los ríos a los que esas aguas entubadas llegan.

Es, en este marco que este trabajo se propone debatir estas prácticas a través del estudio de las tensiones involucradas en procesos de contaminación y autodepuración en el espacio urbano, atendiendo especialmente al análisis de arroyos que atraviesan la urbe metropolitana entubados en gran parte de su recorrido y salen a cielo abierto en aquellos espacios urbanos que concentran altos niveles de pobreza y contaminación ambiental.
Se trata de zonas urbano periféricas, hasta hace 30 años humedales y campos, que se transformaron en espacios densamente poblados y escasamente urbanizados.

El barrio Cárcova, dónde se realiza este trabajo, se encuentra ubicado en el área José León Suárez del partido de General San Martín y es atravesado por un tramo del canal José León Suarez. Este canal arrastra desde aguas arriba una carga de contaminantes producto de descargas cloacales e industriales y, seguidamente, recibe en el barrio los aportes de los desagües domésticos. Contrariando las hipótesis señaladas de que estos barrios son los principales productores de contaminación de la urbe, se propone aquí que justamente ocurre lo contrario: en el trayecto en que el canal discurre por el barrio, el agua se limpia y los sedimentos son los que acumulan los contaminantes. De forma tal que los cursos de agua que atraviesan estos barrios ofician como plantas depuradoras de la metrópolis.

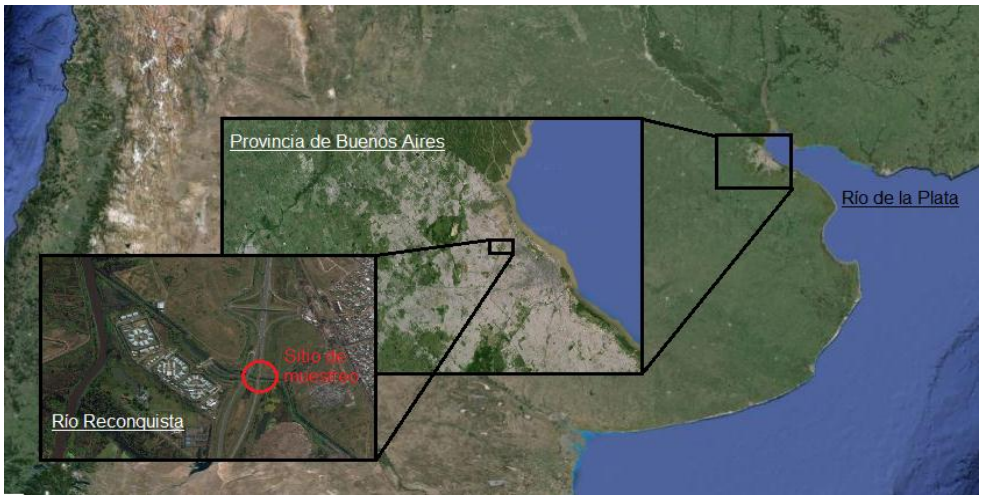


FIGURA 1. Localización del área en estudio (34°31'19.4"S, 58°35'28.0”W).

En este trabajo se ha efectuado un estudio de los diferentes aportes de carga orgánica contaminante al agua del canal en el tramo en estudio, su atenuación a lo largo del canal y la incorporación de contaminantes a los sedimentos. Se encontró una gran capacidad de autodepuración del agua superficial, fundamentalmente a partir de procesos de sedimentación y adsorción. De esta manera la carga contaminante queda acumulada en los sedimentos donde se estabiliza lentamente a partir de procesos anaeróbicos. Se estudiaron además los riesgos implicados en el manejo de los sedimentos y la utilización de los mismos procesos estudiados en posibles herramientas de remediación mediante su aplicación en condiciones controladas.

El desarrollo de este trabajo se realiza desde una perspectiva transdisciplinar y procura un modo de acercarse al estudio de estas dinámicas desde una mirada integral de las dinámicas socioambientales y urbanas y entendemos contribuye tanto a la comprensión de estos procesos como al diseño de estrategias urbano-ambientales que vaya más allá del tirar afuera aquello que ya está dentro.

MÉTODOS Y DESARROLLO EXPERIMENTAL

Zona de estudio y puntos de muestreo

Se tomaron muestras de agua en varios puntos a lo largo del canal, desde su salida a cielo abierto (ver Fig. 2; punto 1) hasta su intersección con el puente del Camino Buen Ayre (ver Fig. 2; punto 12). Solo en los puntos de muestreo 8, 11 y 12 se tomaron muestras de sedimentos.

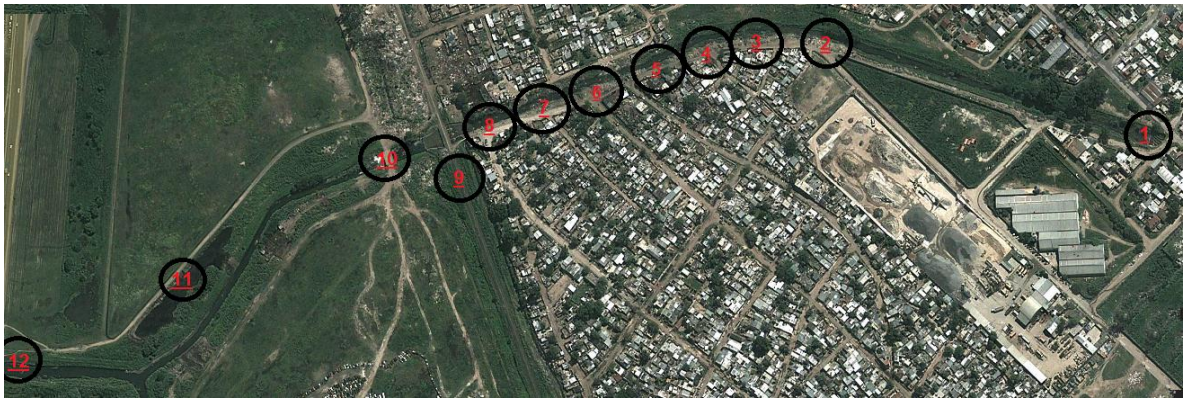


FIGURA 2: Ampliación de sitio en estudio. Entre los puntos 11 y 12 se observa el aporte de otro canal proveniente de un barrio vecino (Barrio Curita). Imagen obtenidas desde *Google maps.*

Caracterización de la contaminación en aguas y sedimentos

Las muestras de agua se tomaron en frascos estériles de polipropileno de 100 ml. Se analizaron dentro de las 4 horas posteriores a la toma de muestra. Sobre las muestras de agua se determino pH, turbidez por espectrofotometría visible (620 nm), DQO (Standard methods for the examination of water and wastewater, 1995) y recuento de número de coliformes por dilución en placa agar en medios DEV y EMB.

Las muestras de sedimentos se colectaron y almacenaron en frascos de polietileno a 4ºC. Se conservó la humedad inicial de las muestras con el fin de conservar las condiciones redox iniciales los más inalteradas posible.

Se determinó humedad relativa por gravimetría y el contenido de materia orgánica oxidable por el método de Walkley Black (Gelman *et al*., 2012). Para determinar el contenido de sulfuros solubles en ácido tipo MS (M denota metal bivalente como Fe(II) o Zn(II)) se realizó el ensayo de purga y trampa para sulfuros volátiles en ácido, seguido por conversión a azul de metileno (Morse *et al*.,1987; Tabatabai, 1982). Previamente se realizó una determinación estimativa de la cantidad de carbonatos en la muestra por medio de Kemess Fiss Rating (Di Nanno *et al*., 2003). Se realizó la extracción secuencial de metales estándar recomendada por la Comunidad Boreau de Referencia, usualmente conocida como extracción BCR (Ure et al., 1993) para determinar la concentración y distribución de los metales en los distintos componentes del sedimento (Fracción 1: asociada a carbonatos y silicatos; Fracción 2: asociada a óxidos de Mn y Fe; Fracción 3: asociada a sulfuros y materia orgánica; Fracción 4: Residual). Se llevó a cabo la determinación de la concentración de Cu, Zn y Fe por Espectrometría de Absorción Atómica (EAA).

Además, se determinó el riesgo de acidificación y liberación de metales in situ siguiendo la metodología propuesta por Kersten y Förstner (K&F; Kersten y Förstner, 1991).

RESULTADOS

Parámetros típicos de contaminación cloacal

En la tabla I se muestran resultados de parámetros indicadores de contaminación como la carga orgánica (Demanda Química Orgánica, DQO), el pH, la turbidez y las bacterias coliformes presentes en las aguas analizadas. Los puntos 6, 8 y 11 (marcados en verde)

no son tomados del cauce del arroyo sino de descargas que provienen del barrio (6 y 8) y de una laguna formada por descargas clandestinas (11). Esa laguna no comunica con el canal salvo tras lluvias intensas. El punto 10 (marcado en amarillo) es el lugar donde el arroyo abandona el barrio.

Tabla I: Parámetros analizados en aguas tomadas en los puntos 1-12 ubicados anteriormente en el mapa.

	pH	Turbidez	DQO (mg/l)	Recuento Coliformes (UFC/ml)
1	7,92	0,297	200,22	1,03E+12
2	7,67	0,038	<50	ND
3	7,79	0,044	<50	ND
4	7,84	0,060	48,00	ND
5	7,72	0,020	<50	ND
6	7,49	0,132	172,44	ND
7	7,82	0,027	<50	5,50E+04
8	7,54	0,085	59,11	1,80E+08
9	7,58	0,022	<50	ND
10	7,71	0,016	<50	1,80E+08
11	7,81	0,479	<50	2,80E+05
12	7,83	0,055	99,11	1,36E+05

En general, al observar la Tabla I, se ve que el agua entra más sucia de lo que sale y que la turbidez tiene mucho que ver con la carga. Se observa además que el arroyo entra al barrio con una carga orgánica de 200 mg/l y una población de coliformes en el orden de 10^{12} unidades formadoras de colonias/ml (UFC) lo cual denota contaminación fecal. El conducto pluvial que discurre debajo de avenida Italia en las zonas urbanizadas de José León Suarez se encuentra "pinchado" con efluentes cloacales y, como se verá más adelante y según se ha constatado en trabajos anteriores (Porzionato *et al*., 2013; 2014) también industriales.

Tanto la carga orgánica como la población de enterobacterias disminuye rápidamente en menos de 100 metros a lo largo del zanjón en el barrio hasta valores menores a 50 mg/l para la carga orgánica y 10^4 UFC/ml para los coliformes. En este tramo del arroyo es donde se comienza a observar una abundante acumulación de sedimentos en el cauce. La carga introducida al arroyo por las descargas barriales (menores en concentración a la carga original con la que el arroyo entra al barrio y de muy bajo caudal) no alcanzan a aumentar nuevamente la carga del canal, tanto por un gran efecto de dilución como por los mismos fenómenos de estabilización antes observados. Puede observarse en el punto 12 que la carga orgánica vuelve a aumentar, siendo atribuible a la confluencia del canal proveniente de Villa Curita marcado en la figura 1.

En el E-ICES 6 ya habíamos comentado la alta velocidad de autodepuración de las aguas de este arroyo, sin embargo los datos obtenidos en este nuevo aporte muestran que la velocidad es aún mayor de lo comentado en ese trabajo y solo atribuible a mecanismos fisicoquímicos de precipitación y adsorción.

El agua sale del barrio (punto 10) con una carga orgánica muy baja y concentración de coliformes 8 órdenes de magnitud (10^8) menor que a la entrada. Sin embargo el oxígeno

disuelto en el agua a lo largo de todo el tramo fue inferior a 2 mg/l a 20°C (saturación de 25 %), y en algunos puntos cercano a cero. Este efecto que puede parecer sorprendente en una primer lectura, está relacionado a una gran demanda bentónica de oxígeno generada por los sedimentos del canal que, con características fuertemente reductoras, consumen el oxígeno disuelto, estableciéndose reacciones anaeróbicas para estabilizar el exceso de materia orgánica. En la tabla II se muestra la contribución del material coloidal arrastrado por el agua a la carga orgánica del sistema.

Tabla II: Valores de DQO [mg/L] en agua superficial de la columna de sedimento, agua con sedimento en suspensión y luego del filtrado de la misma.

Muestras de sedimento	DQO Agua Superficial (centrifugada)	DQO Agua con Sedimento suspendido	DQO Agua filtrada
1	<50	395	200
8	<50	550	59
11	<50	3212	<50
12	<50	99	46

La altísima tasa de depuración observada en el canal, ya comentada en un trabajo previo en el E-ICES 7 puede ser atribuida en parte a la rápida sedimentación y adsorción del material particulado transportado por el agua en los sedimentos del canal. En las zonas de alta velocidad de corriente como en la salida del canal a cielo abierto (y como sería el caso en un entubamiento) esta sedimentación no ocurre, transportándose los contaminantes aguas abajo.

Análisis de los sedimentos

En la tabla III se muestran parámetros obtenidos en el análisis de sedimentos de los puntos 8, 10, 11 y 12.

Tabla III: Caracterización inicial de los sedimentos en los puntos 8, 10, 11 y 12. SVA: Sulfuros volátiles en ácido.

Muestra de sedimento	pH	%Humedad	%Materia Orgánica	SVA [mg/Kg]	Zn [mg/Kg]
8	7,69	54,33	13	81	218
10	7,80	55,27	50	292,8	ND
11	8,13	30,88	> 80	152	801
12	6,78	41,73	12	685	339

La altísima concentración de materia orgánica y sulfuros en el sedimento son claros indicios que la contaminación orgánica se incorpora rápidamente a los mismos, tal como se desprende de los datos de atenuación de la contaminación en aguas. Esta alta concentración de materia orgánica se estabiliza por reacciones biocatalizadas. Al disminuir la concentración de oxígeno disuelto, microorganismos anaeróbicos comienzan a generar sulfuros que dan al entorno su olor característico.
Se determinó (Porzionato *et al.*, 2014) que un cambio en las condiciones redox de los sedimentos tal como el producido por un dragado inadecuado puede generar drenaje ácido y liberación de metales a la columna de agua por lo que se deben realizar análisis certeros antes de emprender cualquier acción que involucre, por ejemplo, el dragado de arroyos y ríos.

Parámetros de contaminación industrial: metales pesados en sedimentos

Es muy difícil determinar contaminación proveniente de industrias en aguas (fundamentalmente un buen marcador son los metales pesados) debido en parte a su baja solubilidad en condiciones de pH neutro y a que las descargas irregulares suelen no ser continuas sino aleatorias y a horarios inesperados, con el fin de ocultarlas. Sin embargo la rápida incorporación y acumulación de metales y otros contaminantes recalcitrantes en los sedimentos, dejan escrita en ellos la historia de las descargas en un gran lapso de tiempo. Los resultados de la concentración de metales encontrada en el canal en estudio (punto 10 de muestreo) se muestra en la tabla IV.

Tabla IV: Contenido de metales pesados en los sedimentos del canal.

	Cadmio (mg/Kg)	Cromo (mg/Kg)	Cobre (mg/Kg)	Zinc (mg/Kg)
	11.4	60.4	220	1468

Todos los valores son, según la Nueva lista Holandesa (2006), Enviroment Canada (2002), EPA (1997) y el Instituto Nacional del Agua, valores de contaminación que se encuentran por encima del valor de referencia o sobre el rango de efectos bajos, en algunos casos ya sobrepasando el nivel de intervención y/o indicando una significativa preocupación a nivel toxicológico. Para algunos (Cinc y Cadmio) se encuentran por encima del umbral de efecto alto, indicando efectivamente la probabilidad de que ocurran efectos ecológicos adversos sobre microorganismo bénticos. Para el caso de los 4 metales estudiados el nivel de contaminación es "muy contaminado" según los niveles guía utilizados por el INA para estudios de sedimentos sobre la hidrovía Paraguay-Paraná.

Estos resultados muestran una clara contaminación de origen industrial que ingresa a los sedimentos del barrio desde aguas arriba a lo largo del colector pluvial "pinchado" por descargas clandestinas. No se detectaron metales en los sedimentos de los canales de desagüe que surcan el barrio llevando las descargas domiciliarias al canal (muestras 6, 8).
La concentración de metales de los sedimentos disminuye a medida que el canal se aleja del barrio. De esta manera se puede suponer que el afluente que recibe el canal entre los puntos de muestreo 10 y 12 si bien arrastra alta carga orgánica (ver tabla I) no arrastra metales pesados, que provendrían entonces exclusivamente de aguas arriba por el colector "pluvial" por avenida Italia.

Potencialidades de remediación

Como se comentó más arriba, los procesos de estabilización de materia orgánica se basan en procesos de adsorción, sedimentación y formación de especies insolubles como sulfuros e hidróxidos de metales pesados. De esta manera los contaminantes se acumulan en los sedimentos.

Muchas de las reacciones involucradas en estos procesos son biocatalizadas y en condiciones controladas pueden ser utilizados para la remediación de los sedimentos. Candal *et al.*, 2012 aislaron especies microbianas (*Actinobacter, Rahnella*) del arroyo con alta capacidad de biosorción y biodegradación de colorantes también detectados en el canal (Curutchet *et al*., 2012).

Porzionato *et al.*, 2013 aislaron especies microbianas sulfato reductoras y azufre oxidantes que utilizadas sobre sedimentos aislados pueden remediar la contaminación por metales pesados por un proceso de biolixiviación (Porzionato *et al*, 2014 a; 2004 b).

De esta manera, llevando a cabo tareas de mantenimiento en el canal tales como parquización de sus orillas, retiro de residuos e implementación de medidas de seguridad, etc., sería posible permitir que el canal continúe su función como virtual planta depuradora de aguas mientras se procede al tratamiento de los sedimentos donde se acumula la contaminación en condiciones controladas. Este tratamiento se puede realizar estimulando los proceso biocatalizados por microorganismos autóctonos y puede inclusive recuperar metales de valor.

CONCLUSIONES

Como hemos señalado al comienzo de este trabajo la contaminación de arroyos y ríos en las urbes no es algo nuevo y muchas de las formas de acción/inacción desplegadas nos han dejado viviendo en una ciudad en donde vivir a la vera del agua se vuelve cada vez más peligroso. Las prácticas de dragado que muchas veces suelen ponerse en marcha como modos de aliviar la contaminación, tal como se evidencia en este trabajo y trabajos previos sobre el mismo sistema no hace más que despertar la contaminación que "duerme" en los sedimentos contribuyendo a empeorar aquello que se espera remediar. Asimismo, acciones como las de entubamiento y construcción sobre las aguas han tenido y tienen efectos directos sobre el habitar y transitar la ciudad sobre esos canales cubiertos así como en aquellos espacios urbanos otrora periféricos que en el siglo XXI, cual cinta de Moebius quedaron dentro de las metrópolis.

Diversas cuestiones surgen como conclusión del trabajo realizado. Importa aquí resaltar algunas. Por un lado, el estudio del arroyo expresa, y permite dar cuenta de la posición geopolítica de los barrios que condensan escasa urbanización y consecuente degradación ambiental. Posición que en el comportamiento del arroyo se traduce en una alta carga contaminante que llega al barrio por esas aguas entubadas y que ese arroyo a cielo abierto se encarga de depurar dejando en la memoria de los sedimentos, esa carga contaminante en el barrio. De forma tal que el agua se limpia y la contaminación queda. En otras palabras, el arroyo entubado deviene zanjón en el barrio y sale hacia fuera, valga la redundancia, de nuevo como arroyo.

Asimismo, este proceso en sí permite mostrar cómo los cauces de ríos y arroyos a cielo abierto y sin rectificación alguna cumplen una función clave en la depuración de la contaminación; depuración que a través de los procesos biocatalizados, mencionados más arriba, pueden permitir generar procesos de mitigación de la contaminación y mejoramiento, desde ya de las condiciones de vida de la población.

REFERENCIAS

Arabindoo P. (2011). Rhetoric of the ‘slum’, City: analysis of urban trends, culture, theory, policy, action. *Routledge Taylor & Francis Group*, *15* (6), 636-646

Bayat, A. (2000), “From ‘dangerous classes’ to ‘quiet rebels’: the politics of the urban subaltern in the global South”, *International Sociology,* 15 (3): 533–57.

Bussi, E. (2013) Hacer escuela secundaria en barrios de degradación ambiental y pobreza urbana extrema: estudio en torno de los dispositivos pedagógicos en la sociedad del gerenciamiento, tesina de grado, UNSAM.

Candal R., Litter M., Guz L., López Loveira E., Senn A, Curutchet G., 2012. Alternative treatment of recalcitrant organic contaminants by a combination of biosorption, biological oxidation and advanced oxidation technologies, *Organic Pollutants: Ten Years After the Stockholm Convention-Environmental and Analytical Update*, Rijeka: Intech, 455-472.

Curutchet G., Grinberg S. y Gutierrez R (2012). Degradación ambiental y periferia urbana: un estudio transdiciplinario sobre la contaminación en la Región Metropolitana de Buenos Aires." *Ambiente & Sociedade* 15 (2), 173-193.

Curutchet G., Gutierrez R., Grimberg S., 2012. Degradación ambiental y periferia urbana: un estudio transdiciplinario sobre la contaminación en la región metropolitana de Buenos Aires, *Ambiente & Sociedade*, **15**, 173–194.

Di Nanno M.P., 2003. Acidificación por oxidación del azufre: aspectos microbiológicos y geoquímicos del ciclo en rocas y sedimentos, *Tesis de Maestría*. Universidad de Buenos Aires, área Ciencias del Suelo. Escuela para Graduados Alberto Soriano.

Gelman F., Binstock R., Halicz L., 2012. Application of the Walkley–Black titration for the organic carbon quantification in organic rich sedimentary rocks, *Fuel*, **96**:698-610.

Grinberg S., Dafunchio S. and Mantiñán M. (2013). Biopolítica y ambiente en cuestión. Los lugares de la Basura. *Revista Horizontes Sociológicos*, 1(1), 120-147.

Grinberg, S. (2013) "Educación, biopolítica y gubernamentalidad. Entre el archivo y la actualidad: Estados de un debate". Revista Colombiana de Educación, N.º 65. Segundo semestre de 2013, Bogotá, Colombia 77-98.

Kersten M., Förstner U., 1991. Geochemical characterization of the potential trace metal mobility in cohesive sediments, *Geo-Marine Letters*, **11**, 184–187.

Morse J.W., Millero F.J., Cornwell J.C., Richard D., 1987. The chemistry of hydrogen sulphide and iron sulphide systems in natural waters, *Earth Science Review***, 24**, 1–42.

Porzionato N., Candal R., Curutchet G., 2014. Biocatalyzed acidification and metal leaching processes in sediments of polluted urban streams, *International Journal of Environment and Health*, **7**, 3-14.

Porzionato N., Candal R., Curutchet G., 2014a. Biolixiviación de metales de sedimentos anaeróbicos del Río Reconquista (Argentina) como estrategia potencial de remediación, 4-ISEBE, Septiembre 9-12, México DF.

Porzionato N., Mellota M., Candal R., Curutchet G., 2013. Acid drainage and metal bioleaching by redox potential changes in heavy polluted fluvial sediments, *Advanced Materials Research*, **825**, 496-499. (doi:10.4028/www.scientific.net/AMR.825.496)

Porzionato N., Melotta M.A., Candal R., Curutchet G., 2014b. Sedimentos fluviales contaminados. Nuevas Minas Potenciales para extraer metales valiosos?, Libro de Actas de XII JATRAMI, Octubre 15-17, San Luis, Argentina.

Standars Methods for the examination of water and wastewater, 1995. 5220 D, Closed Reflux, Colorimetric Method.

Tabatabai M.A., 1982. Sulphur. in Page, A.L. and Tabatabai, M.A. (Eds.): *Methods of Soil Analysis*. Part 2, 501–534, American Society of Agronomy Inc., Madison.

EL CAMBIO CLIMÁTICO EN ZONAS RIBEREÑAS. LA PERCEPCIÓN DE LOS HABITANTES DEL PARTIDO DE TIGRE

Puccio H.[a], *Grana N.*[b]

[a] *Indicat, Facultad de Ciencias Aplicadas al Turismo y la Población, Universidad de Morón, Buenos Aires Argentina*
[b] *Indicat, Facultad de Ciencias Aplicadas al Turismo y la Población, Universidad de Morón, Buenos Aires Argentina*

e-mail: hpuccio@gmail.com

RESUMEN

La perspectiva "teoría social del riesgo" relaciona las amenazas del Cambio Climático con la vulnerabilidad social, responsabilizando a los actores y sus actos, de allí que cobren importancia, los estudios de vulnerabilidad social de las poblaciones, la cual aumenta con la falta de información, con la inacción en materia de adaptación, con actitudes y conductas contrarias al resguardo ambiental

El objetivo de este informe es describir desde la percepción individual de los habitantes del Municipio de Tigre la relación que existe entre el conocimiento que tienen acerca del Cambio Climático y sus actitudes hacia el ambiente, con su conducta ambiental y su intención futura de conducta de resguardo ambiental. Esta última fundamental para superar las situaciones de vulnerabilidad.

Desde la perspectiva cognitivista se han diseñado un modelo de análisis descriptivo y de correlación entre variables y un instrumento de observación en formato de entrevista cerrada, constituida por un conjunto de escalas.

El instrumento ha sido validado en el Municipio de Tigre, el cual es un escenario que por sus características geográficas y climáticas, será afectado por el Cambio Climático. Se caracteriza por sus riveras y por sus jurisdicciones sobre el Delta del Río Paraná.

Los resultados indican mayor conocimiento acerca del Cambio Climático en los habitantes del continente, y están más proclives a tener una conducta de resguardo ambiental. Los Isleños son quienes visualizan los efectos del cambio climático, pero desconocen las causas y no asumen la responsabilidad. Existen marcadas diferencias actitudinales según el género, la educación y la profesión o empleo de los entrevistados.

Palabras claves: *Cambio Climático – Riesgo – amenazas – vulnerabilidad – percepción individual.*

INTRODUCCIÓN

El presente escrito es parte de un programa de investigación de la Facultad de Ciencias Aplicadas al Turismo y la Población, Universidad de Morón, acerca del Cambio Climático y sus consecuencias sociales en las regiones turísticas de Argentina.
El estudio integra los aportes y presupuestos multidisciplinarios provenientes tanto de la producción académica existente como de política / institucional que se ocupa de la problemática del Cambio Climático Global y, en particular a la relación de éste y el turismo (ver figura n°1). En el mismo se visualizan en la primera columna los aportes

teóricos metodológico agrupados por los nombres de los autores con producciones académicas; en la segunda, los informes, manuales y guías de instituciones nacionales e internacionales abocadas al estudio y gestión del Cambio Climático y por último un apartado que agrupa indistintamente a autores con producción académica e informes institucionales sobre la relación Cambio Climático / Turismo.

Producción académica sobre el CC	Aportes institucionales, Informes, y documentos	Estudios sobre Cambio Climático y Turismo
(de los Ríos Cardona 2011)	Programa Nacional PNUD - AR.05/020 2010	OMT Djerba 2003
Duarte 2006	Informe de Síntesis IPCC 2003	OMT Davos 2007
Dietz y Rosa2002	IPCC2001	Gómez y López 2010
Camillon Bidegain, 2005	Informe síntesis IPCC 2007	Herrera Pupo y Perera Téllez 2011
Lawel y Franco1996	B 8 Programa Nacional de Adaptación 2006	Da Cruz 2009
Wilches - Chaux 1998	BID 2010	Holderbaum 2010
Natenzon, Murgida y Ruiz 2006	Manual práctico para tomadores de decisiones en Mesoamérica	Campos Cámar 2011
Urbina Soria y Martinez Fernández 2006	Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo PNUD 2007	Vargas 2005
Garcia Gómez 2001	Serman&Asociados 2006	Dadón 2002
	Síntesis 2010 Publicación de las Naciones Unidas	Mendoza, Monterrubio y Fernández 2011
	Informe Final de Impacto Socioeconómico del Cambio Climático en la República Argentina 2006	Código Ético Mundial para el Turismo (2001). Y CARTA DEL TURISMO SOSTENIBLE.(1995

Figura N° 1 Aportes teóricos metodológicos. Elaboración propia.

La estrategia metodológica adoptada en el proceso de investigación consiste en primer lugar identificar y evaluar el Riesgo en las regiones turísticas de Argentina consultando, para ello fuentes secundarias. Luego se observan los sitios webs de instituciones públicas y privadas que publican sus acciones de adaptación al Cambio Climático, con la finalidad de estudiar la vulnerabilidad institucional en territorios con actividades turísticas. La observación directa se realiza aplicando un conjunto de matrices, las cuales se pusieron a prueba en las Islas del Delta del Río Paraná, sección inferior, con jurisdicción del Municipio de Tigre y el de San Fernando y la provincia de Buenos Aires. Finalmente se obtuvieron los siguientes productos

El estado de la cuestión con referencia al cambio climático en general y el con relación turismo en particular.

Ponderación del riesgo en las regiones turísticas de Argentina, frente a los efectos del Cambio Climático.

Un conjunto de matrices destinadas a evaluar la vulnerabilidad institucional para gestionar el riesgo en las regiones turísticas.

En este informe se agrega un cuarto producto:

El Eco barómetro mide desde las percepciones individuales, la información, el conocimiento, la actitud que tiene los integrantes de una comunidad con relación al cambio climático, relacionando estas variables con su comportamiento cotidiano, con la confianza que le inspiran distintos actores que se ocupan o deberían gestionar tanto el Riesgo, como así también la gestión de las acciones de adaptación al CC, ambas como estrategias para reducir la vulnerabilidad social. A las relaciones antes nombradas se las trata estadísticamente de forma tal que las correlaciones, permitan pronosticar si los integrantes de una comunidad están dispuesto a tener una conducta ambiental en materia de adaptación que reduzca los parámetros de vulnerabilidad social.

IMPACTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO.

El cambio climático es parte o uno de los elementos que contribuyen al cambio ambiental global (IPCC 2001) (Duarte 2006) y desde mediado de 1980 su problematización, debido a las consecuencias negativas sobre el desarrollo de los países, ha captado un nivel de atención sin precedentes y ello se tradujo en una movilización internacional para concertar acciones en las primeras instancias destinadas a mitigar o paliar sus causas. En estas primeras instancias, la preocupación mundial ha estado enfocada a mitigar el origen del problema o sea las emisiones de gases de efecto invernadero. El flujo de estas emisiones hacia la atmósfera y su acumulación a lo largo de los últimos siglos han terminado por elevar las concentraciones a un grado tal que amenaza con llevar la temperatura atmosférica a niveles peligrosos para todos los sistemas del planeta (José Luis Samaniego 2009).

Los impactos del Cambio Climático vaticinados para Argentina se pueden sintetizar en, 1.) Cambios en los patrones de temperatura; 2.) Cambios en los patrones hídricos; 3.) Intensificación de eventos naturales extremos. Estos cambios conlleva a un conjunto de situaciones heterogéneas y diversas en el territorio del país, tales como inundaciones, sequías, tornados, incendios, desertificación, pérdida de biodiversidad, disminución de nevadas, disminución de las masas hielos continentales, aumento del nivel del mar, etc.

Ante tales presagios y observando que la Argentina posee una hidrografía que pertenece mayoritariamente a la pendiente del Atlántico y que transcurre de oeste a este, a excepción de los grandes ríos de la cuenca del Plata, originados en fallas tectónicas, que corren en dirección norte-su, dentro del continente americano, dicho país se diferencia por su inscripción en el sector terminal de la cuenca del Plata, compartida con Bolivia, Brasil, Paraguay y Uruguay, con una superficie de alrededor de 2.6 millones de km2, de los cuales el 37% le pertenece. Los ríos mayores de la cuenca, el Paraná, el Paraguay y el Uruguay, reciben copiosas lluvias de las zonas tropicales y drenan en el Río de La Plata. Por constituir la baja cuenca del segundo sistema hidrográfico de América del Sur, el territorio depende hidrológica y sedimentológicamente e los países del tramos medio y alto: Brasil, Paraguay y Bolivia (Morello y Matteucci, 2000).El Partido de Tigre se encuentra en el sector inferior y terminal de la cuenca, por tanto es un territorio dónde el riesgo de desastres por inundaciones ha sido una constante a lo largo de los años , agravada por las acciones de los hombres en actividades de ingeniería hidráulicas propias del país , como la de los países vecinos , y de asentamientos poblacionales inadecuados en las riberas de los ríos del Sistema, por tanto el impacto de los efectos del cambio climático ya sea aumento de la temperatura, aumento de las precipitaciones, aumento del caudal de los ríos, la intensificación del evento de las inundaciones periódicas presagian un riesgo de desastre muy elevado para la comunidad que habita tanto en el continente, como en las islas (Delta del río Paraná) del partido de Tigre.

No obstante en los últimos tiempos los mayores esfuerzos de investigación de la comunidad científica sobre los desastres naturales ocasionados por el Cambio Climático han estado centrados en los fenómenos físicos más que en las circunstancias de las víctimas. Sin embargo la experiencia indica que el cambio global y en especial el cambio climático constituyen problemáticas prioritarias para las sociedades en general y transversal a todos sus aspectos globales y locales, por tanto para dar respuestas se requiere la participación integrada de diferentes áreas de las ciencias ambientales y sociales (Tercer Informe IPCC 2001)(IPCC 2007) (Duarte2006), por tanto exige pasar de entender dicho fenómeno como un objeto de estudio de las ciencias denominadas "duras" a entenderlo como un hecho social tanto por sus causas como sus consecuencias. En esta línea argumentativa se afirma que la preocupación por el cambio climático es de carácter antropocéntrico; es decir, interesa controlar sus efectos

malignos sobre la humanidad, para impedir que ésta pierda aquellos "objetos" preciados como ser los paisajes, los recursos económicos y todos aquellos aspectos de la naturaleza valiosos sólo para los humanos (Mercedes Pardo Buendía 2007) (Puccio, Grana 2014) Los problemas ambientales no pueden ser resueltos por el ambiente, sino por la sociedad (los agentes políticos, sociales, económicos y la ciudadanía en general), por ello los desafíos del cambio climático son desafíos sociales(Eric Pajares, Óscar Toro; Luis Albán (2012).

Luego aceptada la precedente afirmación y con el objeto de disminuir, evitar, o sacar ventaja de estos posibles impactos se promueve desde la esfera política y científica la definición de estrategias de mitigación y adaptación. (Smit & Wandel 2006). Ambas estrategias actúan complementariamente para hacer frente a este fenómeno, y buscan cambios conductuales y culturales por parte de todos los miembros de la sociedad. La mitigación precisa cambios que conduzcan hacia la disminución de los gases de efecto invernadero (GEI) y de esta manera disminuir o frenar los impactos del cambio climático (SEMENZA et al., 2008) y, el segundo, tomar consciencia y realizar acciones tendientes a cambiar cualitativamente el curso del accionar antrópico, orientando el desarrollo de la economía y la sociedad hacia la sustentabilidad y de esta forma hacer frente a los impactos inevitables del cambio climático (ver figura N° 2) que grafica la localización de las acciones de adaptación y mitigación. El esquema está organizado en 4 grandes fases de un mismo: el cuadrante amarillo representa el momento de las emisiones de los gases de efecto invernadero que genera la exacerbación del efecto invernadero visibilizado en el aumento de la temperatura de la tierra (cuadrante azul). Aquí es dónde los efectos del calentamiento global impacta en las sociedades (cuadrante verde) , las cuales ante el hecho manifiesto de los riesgos de desastres dan comienzo a las acciones de adaptación, entendidas como un como "ajustes en los sistemas ecológicos, sociales o económicos desarrollados en respuesta a los estímulos climáticos actuales o esperados y a sus efectos"(IPCC 2007) (Smit & Wandel 2006). Estos ajuste impactan en las vías socioeconómicas del desarrollo en determinado territorio afectando a las poblaciones involucradas, los gobiernos y a la dimensión tecnológica del mismo (cuadrante rojo). Precisamente en esta dimensión las sociedades emprenden acciones de mitigación, que están dirigidas a disminuir la emisión de los gases (GEI) para disminuir la concentración en exceso (IPCC 2003) (IPCC 2007) y de tal forma revertir en lo posible los efectos del cambio climático.

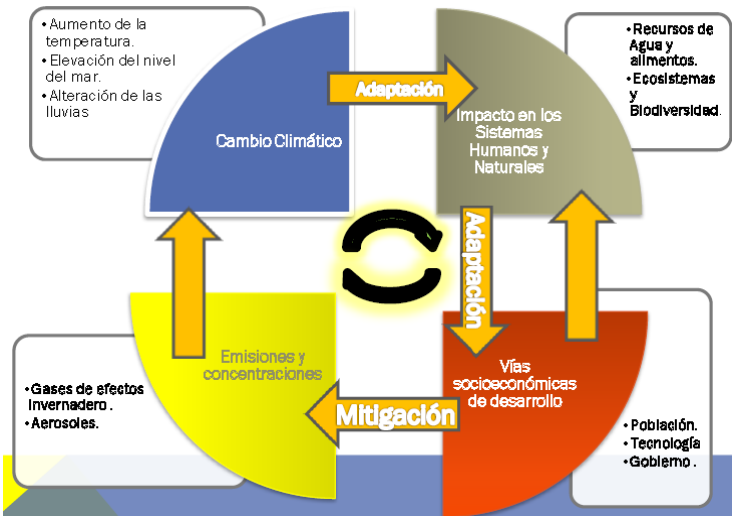


Figura N° 2 Procesos de adaptación y mitigación. Elaboración propia.

Dado que el enfoque teórico metodológico del presente informe es de la Teoría social del riesgo" centrándose en la vulnerabilidad social, se aborda en específico las acciones de adaptación realizadas por los actores sociales de las poblaciones pronosticadas como vulnerables a los riesgos de desastres. En el presente se estudia al actor "individuo", o "sujeto", el ciudadano común, integrante de la comunidad por tanto se procede a observar desde sus percepciones sus comportamiento ambiental, sus actitudes, sus conocimiento del tema CC, la información que posee, los tipos de impactos y de cambio que visualiza, su opinión con relación a la actuación de los actores organizados institucionalmente y por último cuál es su intención de conducta de resguardo ambiental a futuro.

LA PERCEPCIÓN DEL CAMBIO CLIMÁTICO COMO DESCRIPTOR

De este modo, la investigación del cambio climático requiere de una línea de estudio que aborde la percepción de los ciudadanos, ya que la aplicación exitosa de cualquier estrategia, tanto de mitigación como adaptación, exige comprender el nivel de sensibilidad, información y comprensión sobre el cambio climático por quienes adoptarán tales estrategias, quienes evaluarán el desempeño de ellas y quienes se beneficiarán de su aplicación. Por lo tanto, el estudio sobre la percepción y el nivel de conciencia ciudadana al cambio climático tiene por objeto identificar qué puede ser hecho, en qué forma y por quién.

La propia percepción de riesgo sobre el cambio climático, a su vez, ha sido asociada a la disposición a llevar a cabo acciones individuales para mitigar los efectos sobre el medio ambiente de este fenómeno por que diversos trabajos han mostrado que la percepción de riesgo es un buen predictor de futuras conductas adaptativa (M. Carmen Hidalgo e Ignacio Pisano (2010), como ser (Heath y Gifford, 2006) O'Connor et al. (2002). Esto es así porque las observaciones indican que aquellos sujetos que perciben el cambio climático como una situación de riesgo para sus propias vidas apoyan las iniciativas políticas dirigidas a cambiar el modelo energético, a favorecer modelos de producción definidas sostenibles y / o verdes, como así también elegir a futuros realizar conductas voluntarias y alternativas que disminuya el uso abusivo de los gases que favorecen la intensificación del efecto invernadero. En el análisis de este tipo de percepción se consideran fundamentalmente las siguientes cuatro variables a saber: percepción de riesgo, actitudes, conocimientos y autoeficacia sobre la disposición a actuar. Se toma dicho modelo ya no tanto para analizar la intención conductual de actuar para la mitigación ambiental, sino para la intención conductual de contribuir para la realización de acciones de adaptación para contribuir a bajar los niveles de adaptación.

MÉTODO

La muestra conformada por 250 habitantes del partido de Tigre, tanto los que habitan el continente como los isleños que habitan las islas del delta del Río Paraná con jurisdicción municipio Tigre. Comprenden la muestra a personas mayores de 15 años sistematizados por sus diferentes edades, nivel instrucción primaria, secundaria y universitaria, por su profesión y ocupación laboral y su lugar de residencia, aplicando un instrumento de observación denominado Eco barómetro, el cual es un modelo de análisis para medir las percepciones ambientales. El mismo establecen relaciones entre las siguientes variables: información, conocimiento, percepción de cambios e impactos, conducta ambiental, control social y autoeficacia percibida y una correlación de las mismas con la intención de conducta de resguardo ambiental.

INSTRUMENTO DE OBSERVACIÓN

Se diseñó una entrevista que versa sobre la intención de realizar una conducta racional (FISHBEIN, M. & AJZEN, I. (1975).) expresada en una con escala de Likert (LIKERT, R. (1932)). A Technique for the Measurement of Attitudes. Archives of Psychology, 140, 5-53. . En él se recogen aspectos socio-demográficos (edad, sexo, estado civil. así como las variables analizadas en este estudio, operacionalizadas en 19 ítems con una escala tipo Likert de 7 puntos (1 = totalmente en desacuerdo a 7 = totalmente de acuerdo) en los siguientes ítems de acuerdo a lo que percibe:
Tener información acerca del cambio climático.
Tener conocimiento sobre las causas del cambio climático: compuesto por 5 ítems que hacen referencia básicamente a las causas antropogénicas, naturales o de los gases de efecto invernadero que producen el cambio climático. Estos ítems han sido extraídos de Heath y Gifford (2006) y de Sundblad et al. (2007).
Tener conciencia de los cambios vaticinados o haber observado los ya ocurrido(aumento de temperatura; variación patrones de lluvia, inundaciones, derretimiento de glaciares, escasez de agua potable, perdida de la biodiversidad)
Tener conciencia de su comportamiento habitual con relación a los patrones de consumo energético, de agua y de producción, selección y deposición de los residuos.
Percibir el comportamiento ambiental de amigos y parientes.(Control social)
Sentimientos de aceptación o rechazo por las acciones realizadas por gobierno, poder judicial, ONGs, Sector académico, comerciantes y empresarios y ciudadanos.
Autoeficacia percibida. Reconocer en si mismo el poder de colaborar para reducir la vulnerabilidad y la contaminación ambiental en el presente y en el futuro (2004) y de Heath y Gifford (2006).
Intención de conducta: compuesto por el ítem "Estaría dispuesto a introducir cambios en mi modo de vida para combatir el cambio climático". Pero además resulta de correlacionar las variables antes

RESULTADOS

En la totalidad de los encuestados la variable "información sobre el cambio climático, resultó que sólo el 10% de los encuestados no tiene nada de información acerca del cambio climático y que más de la mitad (el 61%) tiene poca información. O sea que el 90% de la muestra tiene información respecto al cambio climático. Con relación al sexo las mujeres presentan una mayor información que los varones (ver figura N° 3) y con relación a la edad (ver figura N°4), curiosamente los más informados son los jóvenes hasta 15 años y les sigue los jóvenes de 26 a 40 años

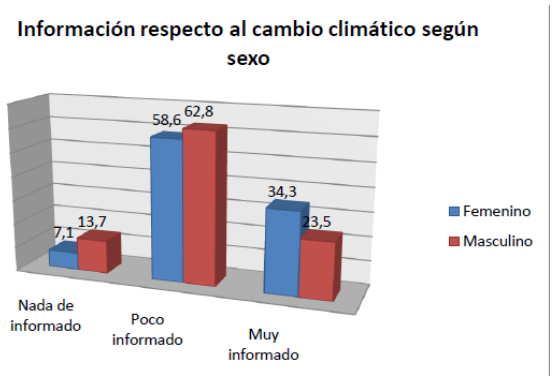


Figura N°3. Elaboración propia

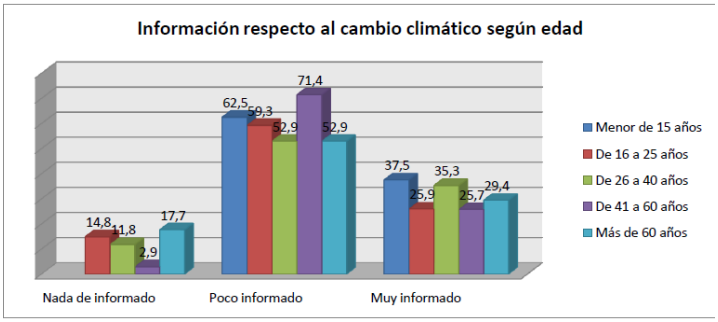


Figura N°4 Elaboración propia

Las profesiones parecen tener incidencia en la información del cambio climático, siendo la actividad comercial la que acredita mayor información (ver figuran N°5)

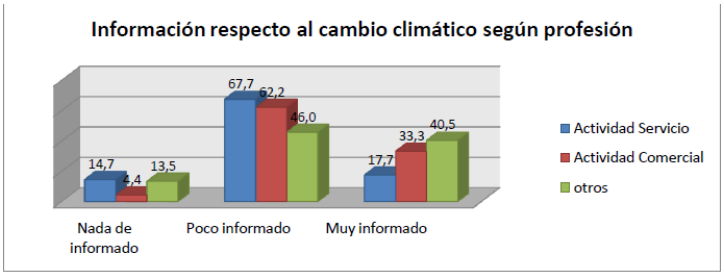


Figura N° 5 elaboración propia

El lugar de residencia (islas o continente) Vamos a trabajar con dos categorías: "Isla" y "Continente". No tiene sentido subdividir "Continente" en las distintas ciudades porque, excepto en Tigre, en las otras ciudades las observaciones son muy pocas. La mediana continente es significativamente mayor, por tanto se afirma que los residentes en el continente cuentan con mayor información

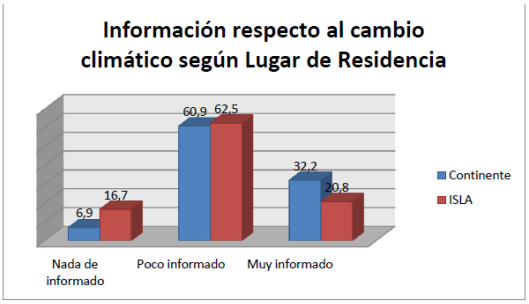


Figura N° 6 Elaboración propia

Para constatar información se indaga si conocen las causas del cambio climático, debiendo responder por “el uso de energía del petróleo”, crecimiento de las poblaciones y de las industrias, y ciclos naturales del planeta. En este ítem diferenciando por sexo femenino (ver figura N° 7) y masculino (ver figuran Nº 8).

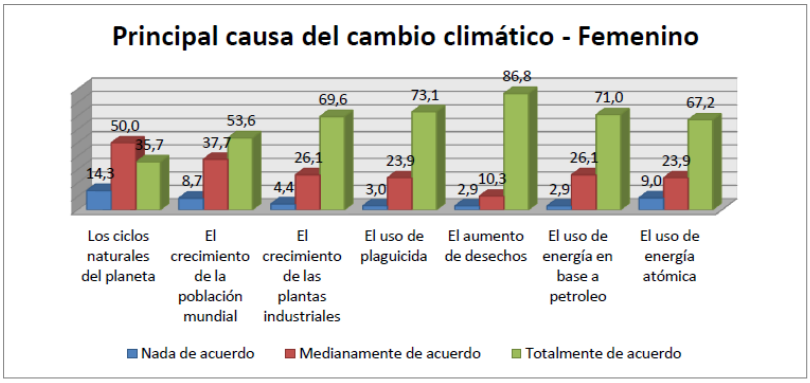


Figura N° 7 elaboración propia

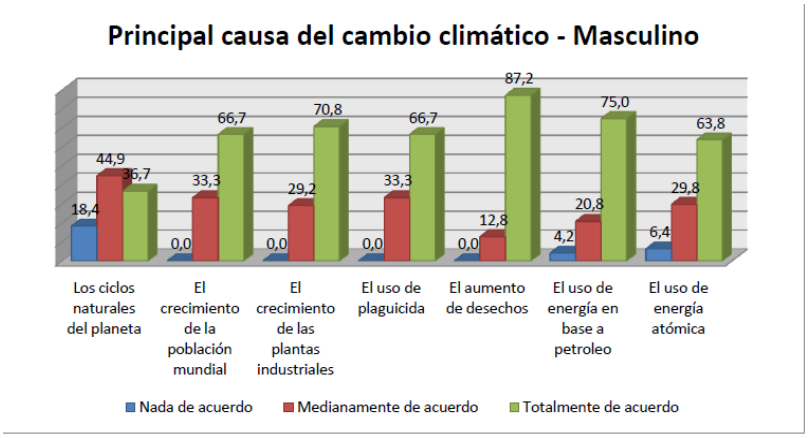


Figura n°8 propia

En las variables consideradas por verdadera para este informe el uso del petróleo en los hombre es de 75% y mujeres 71%; el crecimiento de las industrias hombres 70% y mujeres 69%; la población mundial hombres 66% y mujeres 53%; CON LOS CICLOS NATURALES hombres 46% y mujeres 56%-Es llamativo que por sobre esas cifras aparece la variable aumento de Deshechos en los hombres del 87% y en las mujeres 86%-. En la relación información y conocimiento existe reacción entre las variables. En cuanto a percibir los cambios o / e impactos del cambio climático /ver (figuran N° 9 y 10) En todas las categorías el mayor porcentaje de respuestas es para "Totalmente de acuerdo" y pocas para "Nada de acuerdo". Además ese porcentaje mayor supera el 50% excepto para "Los inviernos sin nieve" en que es un poco menos del 50% y en el que el porcentaje de "Nada de acuerdo" es mayor que el de los demás (17,5%).

El mayor efecto del cambio climático	Nada de acuerdo	Medianamente de acuerdo	Totalmente de acuerdo	Total por fila
El aumento de las temperaturas	4,13	29,75	66,12	100
La variación en el régimen de lluvias	9,17	35,00	55,83	100
Las inundaciones	6,72	28,57	64,71	100
La desertificación	16,38	32,76	50,86	100
La pérdida de la biodiversidad	8,33	30,83	60,83	100
La destrucción de glaciares	7,50	18,33	74,17	100
El cambio de la costa	5,93	37,29	56,78	100
La pérdida del caudal en ríos y arroyos	5,83	32,5	61,67	100
Los inviernos sin nieve.	17,5	36,67	45,83	100

Figura N° 9 Porcentaje de las percepciones de los mayores efectos del cambio climático. Elaboración propia.

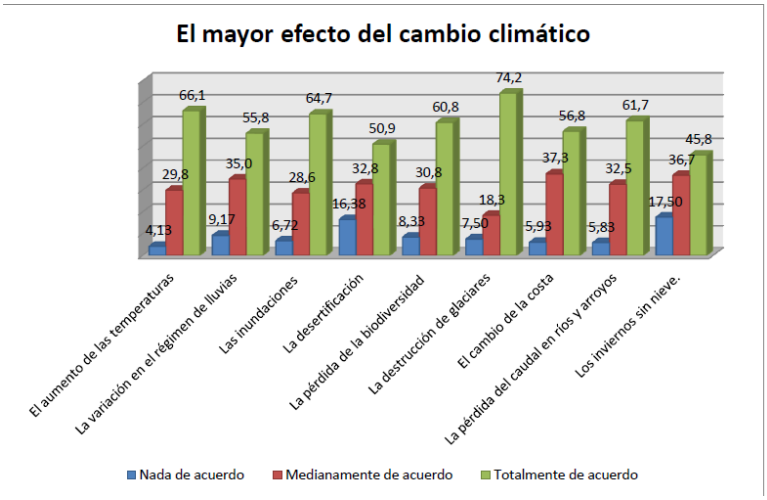


Figura N° 10. Elaboración propia

CONCLUSIÓN

Dadas las características geográficas de las zonas ribereñas del rió de la plata, Río Luján y Río Paraná , antes descriptas, con sus asentamientos poblacionales espontáneos, sumándole los desarrollos inmobiliarios no adecuados a tales características, hacen de las riberas territorio vulnerables a los impactos del cambio climático.

Las poblaciones residentes tanto en el continente como en las Islas del Río Paraná en la jurisdicción del municipio de Tigre, tienen información acerca del cambio climático en general y en una población promedio que supera al 60% tienen conocimiento acerca de sus causas, han percibido los siguientes cambios en su entorno ambiental y físico: aumento d ela temperatura, cambios en los regimenes de lluvias, cambios en las costas, cambios en el caudal de ríos y arroyos, inundaciones no periódicas, y perdida de la biodiversidad y por último una variable que está registrad en el instrumento de observación, pero que en su totalidad la población expresó, es la disminución de agua potable aun reconociendo su participación en el ahorro de la misma, llegando a reconocer ello en u n escaso 20 % (ver figura N°11) y su grado de confianza con el accionar de la administración pública en la gestión del agua es escasamente al 4% (ver figura N°12)

	En materia de Cambio Climático y cuidado ambiental me inspiran confianza las empresas			
	Nada de acuerdo	Medianamente de acuerdo	Totalmente de acuerdo	Total
Nunca realizo ahorro de agua en casa	5,08	0,85	1,69	7,63
En ocasiones realizo ahorro de agua en casa	18,64	18,64	3,39	40,68
Siempre realizo ahorro de agua en casa	20,34	30,51	0,85	51,69
Total	44,07	50	5,93	100

Figura N° 11. Ahorro de Agua potable por los residentes. Elaboración propia.

	En materia de Cambio Climático y cuidado ambiental me inspira confianza la administración pública			
	Nada de acuerdo	Medianamente de acuerdo	Totalmente de acuerdo	Total
Nunca realizo ahorro de agua en casa	3,33	2,5	1,67	7,5
En ocasiones realizo ahorro de agua en casa	16,67	19,17	4,17	40
Siempre realizo ahorro de agua en casa	22,5	16,67	13,33	52,5
Total	42,5	38,33	19,17	100

Figura N° 12 .Grado de confianza en el accionar del Administración Pública en el tratamiento del agua. Elaboración propia

Por otra parte los isleños expresaron su disconformidad con la recolección de residuos domiciliarios y reconocen practicar la selección de los mismos en un porcentaje que no supera el 20%, ver (Figura n° 13) expresando que la administración pública encargada de la gestión les inspira confianza en un total del 49 %

	En materia de Cambio Climático y cuidado ambiental me inspiran confianza las empresas			
	Nada de acuerdo	Medianamente de acuerdo	Totalmente de acuerdo	Total
Nunca selecciono y separo papel y cartón	21,55	17,24	3,45	42,24
En ocasiones selecciono y separo papel y cartón	10,34	12,07	0,86	23,28
Siempre selecciono y separo papel y cartón	12,93	19,83	1,72	34,48
Total	44,83	49,14	6,03	100

Figura N° 13. Selección de los residuos domiciliarios. Elaboración Propia.

La información, la comunicación y la participación ciudadana son instrumentos sociales transversales a todas las acciones de adaptación y mitigación , aunque es prioritario extender, ampliar los mecanismos de participación de las comunidades según su lugar de residencia, e intereses ambientales por un lado, Por otro la gestión local ante amenazas de riesgo de desastres entre las acciones de adaptación la información y la comunicación son tareas primordiales para efectivizar la participación comunitaria, dada las contradicciones entre lo que se visualiza, se conoce y se actúa según las percepciones de los integrantes de una comunidad en riesgo.
Para ello asegurar y facilitar una buena información sobre cambio climático, sus efectos, alternativas y las resoluciones del caso. También divulgar los informes científicos a la comunidad de manera comprensible a la generalidad ajustando los mensajes según franjas etarias. Por otra parte es prioritario también desarrollar competencias laborales y profesionales relacionadas con las temáticas de comunicación e información del cambio climático.

BIBLIOGRAFÍA

A. N. (Director) “Vulnerabilidad de la Zona Costera. Informe final. Argentina 2º Comunicación de Cambio Climático”. 49-74.

de los RÍOS CARDONA, Juan Camilo (2011) Panorama general de las investigaciones sobre vulnerabilidad y adaptación al cambio climático, Boletín Informativo del Centro de Investigación en Ecosistemas y Cambio Global – C&B;

ISNN 1794-287X Vol. 8, No.3. en línea http://www.cambioclimatico.gov.co/adaptacion-inap.html , consultado 14 de abril 2012.

CAMPOS CÁMAR, Bonnie Lucía(2011) Presión Turística y Urbanística :vulnerables al cambio climático, en la revista Quivera, vol. 13, núm. 2, julio-diciembre, 2011, pp. 1-13 Universidad Autónoma del Estado de México Toluca, México en http://www.redalyc.org/redalyc/pdf/401/40119956001.pdf 20 de mayo 2012

DADÓN , José (2002) El impacto del turismo sobre los recursos naturales costeros en la costa pampeana. En: Zona Costera de la Pampa Argentina (J. R. Dadon y S. D. Matteucci, eds.). Lugar Editorial, Buenos Aires,pp. 101-121. ISBN 950-892-140-4

DUARTE, Carlos M.,(2006) Cambio global Impacto de la actividad humana sobre el sistema Tierra. CONSEJO SUPERIOR DE INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS, Madrid.

Eric Pajares, Óscar Toro; Luis Albán (2012). Gestionando el CC en los paisajes andinos en "Perú: el problema agrario en debate /SEPIA XIV. Lima,

GARCÍA GÓMEZ, Javier (2001) Vulnerabilidad y Medio Ambiente. CEPAL Santiago de Chile.

Hidalgo, M Carmen y Pisano, Ignacio (2010) Predictores de la percepción de riesgo y comportamiento del Cambio Climático. Un estudio piloto. Revista Psyecology, 2010, 1 (1), 39-46

Heath, Y. y Gifford, R. (2006). Free-market ideology and environmental degradation: The case of belief in global climate change. Environment and Behavior, 38, 48-71.

HEATH, Y. & GIFFORD, R. (2006). Free-market ideology and environmental degradation: The case of belief in global climate change. Environment and Behavior, 38, 48-71.

Informe IPCC 2007: 2007: Cambio climático 2007: Informe de síntesis. Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Cuarto Informe de evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. IPCC, Ginebra, Suiza, 104 pág.

LAVELL (1996) Degradación Ambiental. Riesgos y Desastres Urbano. Problemas y Conceptos. Hacia la Definición de una Agenda de Investigación. En Ciudades en Riesgo. Degradación Ambiental, Riesgos Urbanos y Desastres, de Fernández, María, compiladora. La RED – USAID. Perú.

LIKERT, R. (1932). A Technique for the Measurement of Attitudes. Archives of Psychology, 140, 5-53.

Matteucci, S. (2006). "La sustentabilidad del sistema humano-natural en el norte y nordeste de la provincia de Buenos Aires". En: Matteucci, et al., "Crecimiento urbano y sus consecuencias sobre el entorno rural. El caso de la ecorregión pampeana". Orientación Gráfica Editora. Buenos Aires. 83-122.

Maza J y Ruiz A. (2006). “Inundaciones urbanas”. En: “Vulnerabilidad de la Patagonia y sur de las provincias de Buenos Aires y La Pampa”. Fundación e Instituto Torcuato Di Tella. Cap 6. 157- 185

MENDOZA, Marta, Monterrubios Cordero, Juan y Fernández Aldecua, María (2011) Impactos Sociales del Turismo en el Centro Integralmente planeado . Bahía de Huatulco, MX. Gestión Turística . N° 15. Enero-junio 2011. pp 47-73, Chile

Menéndez, A. y Re, M. (2005). “Características hidrológicas de los ríos Paraná y de la Plata”. En: Menéndez.

Natenzon, C. y González S. (2010). “Riesgo, vulnerabilidad social e indicadores. Aplicaciones para Argentina”, en Arroyo, Mónica y Perla Zusman (comp.) “Argentina e Brasil: Possibilidades e obstáculos no processo de integração territorial”. Editorial Humanitas. São Paulo. 95-218.

NATENZON Claudia, Murgida, Ana y Ruiz Mara (2006) Vulnerabilidad Social al Probable Cambio Climático en Informe Impacto Socioeconómico del Cambio Climático en la República Argentina(2006) Fundación Bariloche - Donación del FMAM Nº TF 51287/Ar pág 32- 73 disponible en línea ttp://aplicaciones.medioambiente.gov.ar/archivos/web/UCC/File/impactos_socioeconomicos.pdf consultado el 20 enero 2012.

O’Connor, R., Bord, R., YArnal B. y Wiefek. (2002). Who wants to reduce greenhouse gas emissions? Social Science Quarterly, 83, 1-17.

Pardo Buendía Mercedes (2007) El impacto social del Cambio Climático, en Panorama Social (2007) nº 5: 22-35Bogotá

Puccio Hilda, Grana Nazarena (2014) CAMBIO CLIMÁTICO Y TURISMO, en las V Jornadas de Ciencia y Tecnología UM2014, organizadas por la Secretaría de Ciencia y Tecnología y la Comisión de Representantes de Investigación de la UM, 27, 28 y 29 de agosto 2014. Morón .

Programa Nacional de Prevención y reducción del riesgo de desastres y desarrollo territorial (PNUD – AR.05/020) 2010.Buenos Aires.

PROGRAMA DE LAS NACIONES UNIDAS PARA EL DESARROLLO-PNUD-2007. Informe sobre Desarrollo Humano 2007-2008: La lucha contra el cambio climático: Solidaridad frente a un mundo dividido. Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, Nueva York

Retamalli, M Rafaela; Rojas, Jorge; Parral Oscar (2011) Percepción al cambio climático y a la gestión del agua: aportes de las estrategias metodológicas cualitativas para su medición, en Smit B., Wandel, J., (2006) “Adaptation, adaptive capacity and vulnerability”. Global

Semenza, J.C., Hall, D.J., Wilson, D.J., Bontempo, B.D., Sailor, J.,George, L.A.,(2008) "Public perception of climate change. Voluntary mitigation and barriers to behavior change". American Journal of Preventive Medicine, 35 (5): 479-487.

SERMAN & ASOACIADOS 2006:"Impactos Socioeconómicos del Cambio Climático en la República Argentina". Actividades Habilitantes para la 2° Comunicación Nacional del Gobierno de la República Argentina a las Partes de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático". Fundación Bariloche, Buenos Aires

Smit, B., Wandel, J.,(2006) "Adaptation, adaptive capacity and vulnerability". Global Environmental Change, 16: 282-292.

URBINA SORIA, Javier y Martinez Fernández, Julia (compiladores)(2006) Más allá del cambio Climático. Las dimensiones psicosociales del cambio ambiental global. Secretaría de Medio Ambiente y UNAM, Facultad de Psicología, México

CALIDAD DE LAS AGUAS PARA CONSUMO HUMANO EN EL SUDESTE DE MALARGÜE, MENDOZA. Avances preliminares.

Ramires A. ([a]), González V. ([b])

[a] *International Center for Earth Sciences, Comisión Nacional de Energía Atómica (ICES-CNEA) Complejo Planetario Malargüe, ARGENTINA*
[b] *Facultad de Ciencias Exactas y Naturales Universidad Nacional de Cuyo; Escuela 4-018 Técnica Química y Minera Manuel N. Savio, Malargüe, ARGENTINA*

e-mail:airamires@cnea.gov.ar.

Palabras Clave: calidad de agua, subterránea, muestreo, fisicoquímico, puestos.

En el sudeste del distrito Agua Escondida, departamento de Malargüe, los asentamientos humanos y el uso del territorio están regidos por la presencia del agua. Debido a las características geográficas, no existe un drenaje superficial permanente y la ubicación de los asentamientos está estrechamente vinculada a la existencia de recursos hídricos subterráneos permanentes y/o estacionales.
Los primeros estudios de calidad de agua en la región fueron realizados en la década del 60 en el marco de relevamientos geológicos. No obstante, no existen estudios pormenorizados para saber cuál es la calidad del agua de las diversas fuentes: subterráneas, superficiales permanentes, temporarias y criogénicas.
Por lo expuesto, esta investigación pretende realizar un estudio de la calidad del agua para consumo humano en los asentamientos rurales del sudeste de La Payenia, del distrito de Agua Escondida. Ello implica, relevar los tipos de fuentes de aguas permanentes y temporarias; conocer el uso, manejo histórico, las formas de acceso al recurso y determinar las propiedades y características fisicoquímicas.
La metodología utilizada consiste en la identificación de las fuentes de agua según origen; la determinación de los puntos de muestreo y recolección de muestras por temporada. El muestreo fisicoquímico se realiza in situ, siendo uno por estación, de acuerdo a los protocolos establecidos por los laboratorios responsables de la determinación de los elementos. Hasta la fecha se han realizado tres salidas de campo.
Los datos preliminares analizados hasta el momento, indican que las aguas son de mala calidad, ya que en general presentan un elevado tenor de sales (especialmente magnesio), dureza y alcalinidad, esto denota la presencia en varios sectores del área, de rocas del cretácico superior de la era Mesozoica. En el 50 % de las muestras se detecta flúor en valores mayores a los establecidos por los entes que regulan la calidad del agua para consumo humano.

MÉTODOS O DESARROLLO EXPERIMENTAL

Descripción del área de Estudio

El área de estudio se ubica al sudeste del departamento de Malargüe a más de 250 km de la ciudad homónima. Comprende los parajes de El Cortederal, La Matancilla y Ñirreco, situados en el distrito La Escondida. Fig.1

La geología del sector se caracteriza por el predominio de formaciones volcánicas en su mayoría jóvenes que marcaron la evolución geológica de la región.

El cuadro estratigráfico (González Díaz, 1979), comienza con sedimentitas clásticas continentales de la Formación Neuquén, cubiertas por acumulaciones marinas de la Formación Malargüe. Por encima se encuentran calizas y arcilitas de la Formación Roca y areniscas, arcilitas y conglomerados continentales de la Formación El Pingucho.

Luego predominó la actividad volcánica, con diversas manifestaciones durante el Terciario y Cuaternario.

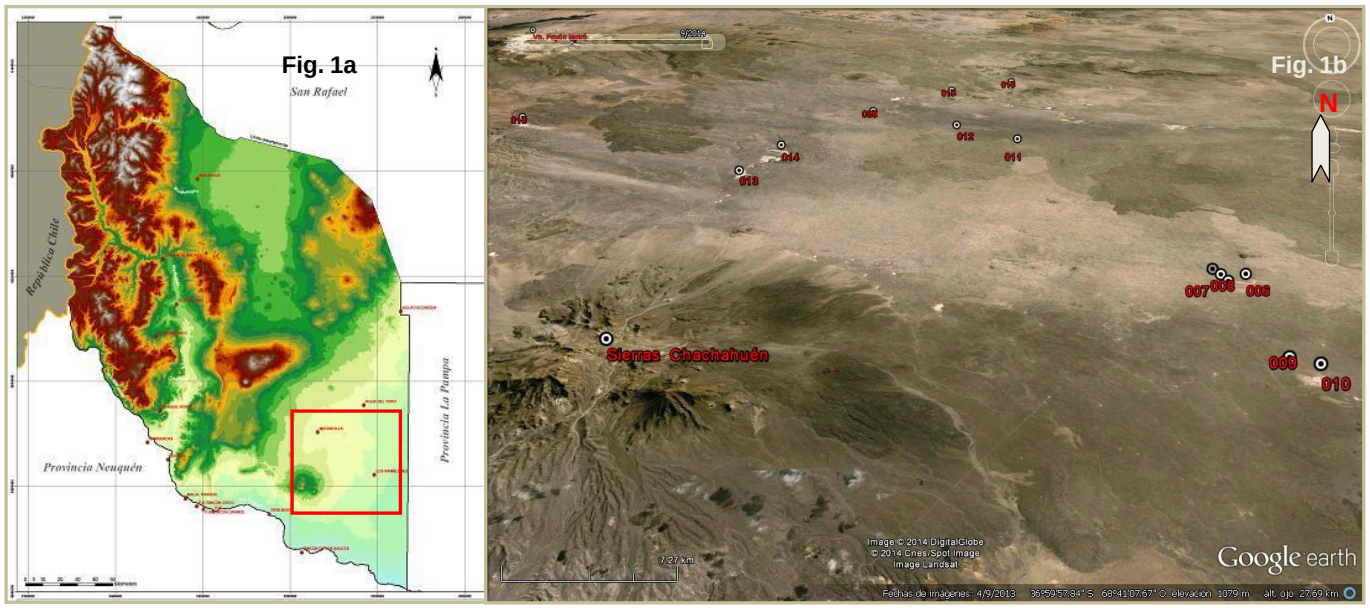


Fig. 1a- Ubicación del área de estudio en el departamento de Malargüe; b-Sitios de muestreo

El clima es frío y árido, ya que el área, está influenciada por el Anticiclón del Pacífico sur, que determina precipitaciones fundamentalmente invernales que rondan los 250 mm.anuales. (Capitanelli, 1967). Sólo las elevaciones más importantes como El Payún Matrú, Payén Liso y Chachahuen reciben precipitaciones nivales cuando ingresan masas de aire húmedas en invierno.

En verano, la zona es afectada por la circulación atmosférica del Océano Atlántico, que provoca tormentas eléctricas que suelen desencadenar aluviones.

La zona se caracteriza por la ausencia de un drenaje superficial, siendo las únicas fuentes de acceso los pozos, aljibes, aguas de vertiente en sectores más húmedos, los jagüeles o aguas del tiempo y las provenientes del permafrost en el volcán Payún Matru (Trombotto et al. 2010) que son utilizadas cuando se producen sequías prolongadas. Todas estas fuentes, cubren precariamente las necesidades de los pobladores, ya sea, por escasez, mala calidad del recurso y falta de acceso a tecnologías modernas para la excavación de pozos y aljibes.

Esta limitación al acceso del recurso hídrico, sumado a factores de índole político, históricos, económicos y socioculturales han generado un poblamiento disperso y escaso, vinculado históricamente a la ganadería, que en principio fue ovina y actualmente es caprina y bovina.

El área de cuenta con aproximadamente 35 puestos (unidades socioeconómicas de producción ganadera), que reúnen una población cercana a las 100 personas.

Más del 50% tiene una antigüedad cercana a los cien años y no es propietario de su campo, existiendo numerosos problemas con la tenencia de la tierra.

Fundamentación

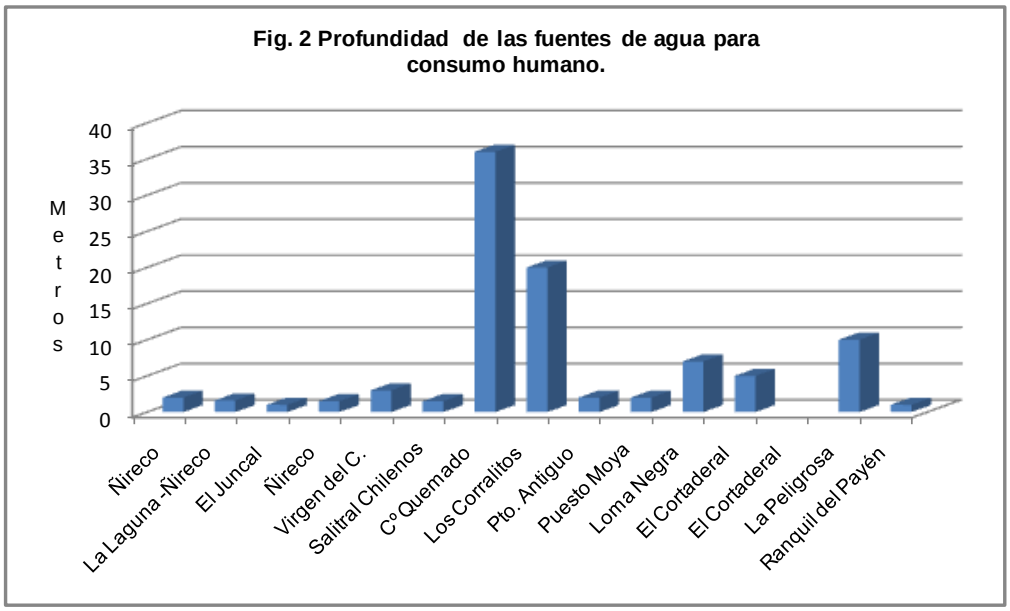
Estudios aislados realizados por diversos organismos estatales desde la década del 60, indican que el agua es de mala calidad, incluso en algunos sectores es rechazada por el ganado doméstico. No obstante debido a su escasez es consumida por los pobladores del lugar.

Hasta la fecha no se ha realizado un trabajo pormenorizado de la calidad del agua que consumen los pobladores rurales del lugar. Se evidencian problemas de salud que hacen necesario comenzar a estudiar las relaciones que pueden existir entre las propiedades y características de las aguas con las enfermedades renales, hepáticas, intestinales, óseas y cardiovasculares dominantes en el área (Área departamental de la Salud Malargüe, com. Oral, 2014). Desconociéndose hasta el momento las características fisicoquímicas y microbiológicas de las mismas.
Por otro lado, no existe concientización respecto de la ubicación de las letrinas y de los basureros domiciliarios, y es probable, que estén contaminando las aguas, con distintos agentes patológicos, teniendo en cuenta que la mayoría de los pozos de donde se capta el agua para el consumo son abiertos y en consecuencia se extrae de las primeras capas freáticas.

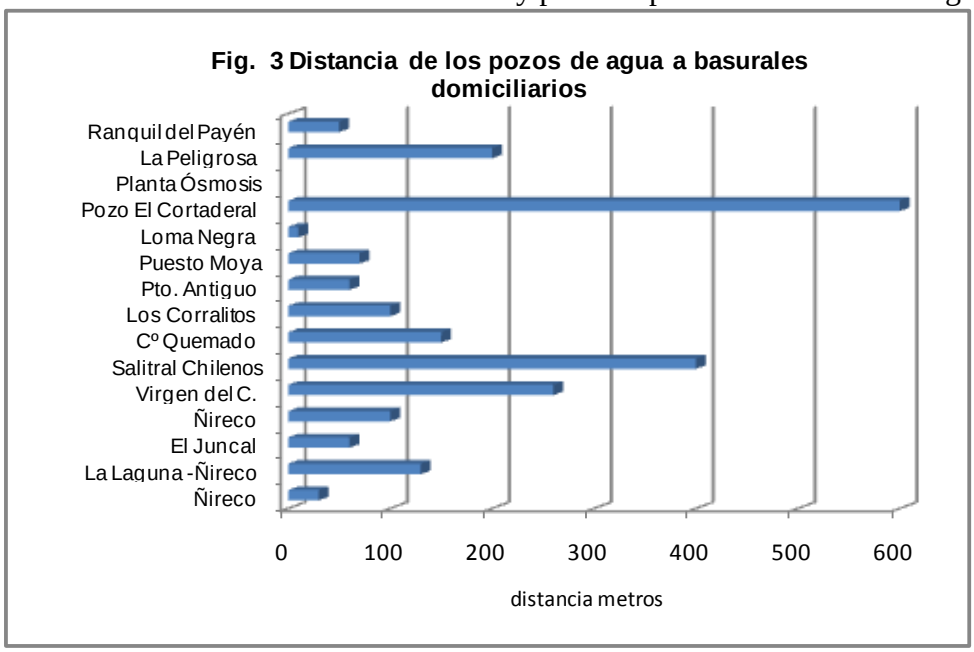
Objetivos
1. Relevar los tipos de fuentes de agua permanentes y temporarias para consumo humano de la zona.
2. Conocer el uso, manejo histórico del agua y la /s forma/s de acceso al recurso.
3. Determinar las propiedades y características fisicoquímicas de las diversas fuentes.
4. Identificar riesgos socio- naturales que pueden incidir en la calidad y cantidad del agua

Metodología
La metodología de trabajo fue la siguiente:
1. Búsqueda y recopilación preliminar de documentos, datos y cartografía.
2. Diseño de encuestas y entrevistas a la comunidad y autoridades sanitarias del lugar.
3. Determinación del número de muestras por temporada (15 quince) y recolección de muestras de agua en los puestos según tipos de fuentes de aprovisionamiento:
3.a)- Muestreo fisicoquímico in situ: la toma de datos se efectuó con el instrumental existente en ICES- CNEA, Regional Malargüe. (pH, conductividad, salinidad, temperatura).
Para las determinaciones se utilizaron los siguientes instrumentos: Jenco Model 3250&3251 (Conductividad/Salinidad/Temperatura), phMetro Digital Altronix, modelo TPA-III (Ph).
Las muestras se enviaron según protocolo establecido por los laboratorios, al Complejo Minero Fabril San Rafael –CNEA- para análisis de carbonatos, cloruros, nitratos y metales pesados. A la Gerencia de Química-CAC- Buenos Aires, para la determinación de arsénico y a la Subgerencia Regional Cuyo –CNEA- para la determinación de fluoruros.
4. Análisis e interpretación de los resultados preliminares físico químicos de las muestras de otoño y de invierno (para fluoruros).
5. Análisis estadístico e interpretación de datos preliminares de variables socio ambientales de los sitios.

Análisis de datos
Caracterización de las fuentes de agua
El sistema de captación de agua para consumo humano es mediante pozos de poca profundidad 69%, (entre 1.5 m a 2 m.) y en menor medida con molino. Sólo un puesto cuenta con surgencia (vertiente) y otro posee jagüel. Fig. 2.
La mayoría de los pozos han sido construidos en forma manual con materiales de la zona. El sistema de extracción es con bomba y manual mediante balde.

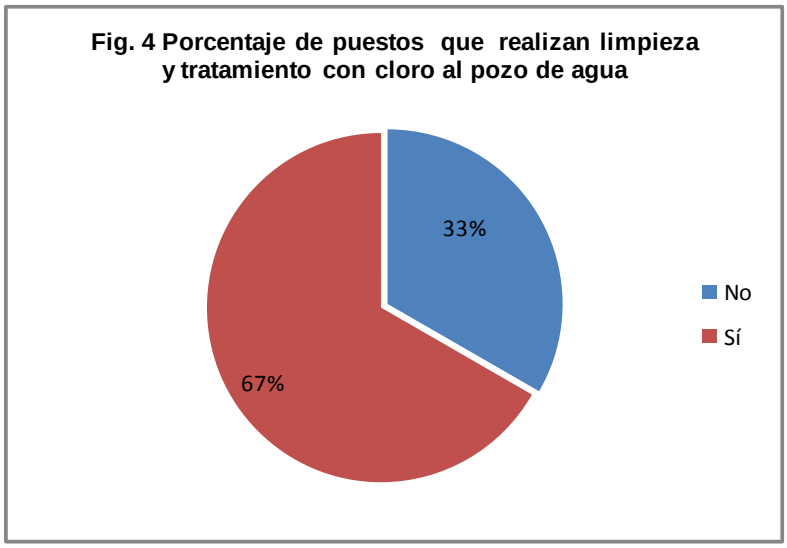


Respecto de las condiciones sanitarias de las fuentes de agua, el 70% tienen alguna protección (tapa) para evitar el contacto con agentes ambientales y se ubican a menos de 200 m de distancia de los basurales y pozos sépticos domiciliarios. Fig.3



En cuanto al mantenimiento, cerca del 70% realiza limpieza a la fuente y tratamiento con cloro antes de consumir.Fig.4.La limpieza es bastante aleatorio ya que en algunos casos se realiza una vez por semana, en otros cada 15 días o un mes, dependiendo de la estación del año. En verano es más frecuente la limpieza. En las fuentes que no son protegidas, se observan insectos, restos de lama, flora y fauna acuática.

En la mayoría de los casos el agua es almacenada entre uno y dos días en baldes o tachos de plásticos que son lavados previamente.



La mitad de los pozos de agua ha sufrido daños por lluvias intensas, especialmente en verano, cuando se producen tormentas eléctricas intensas. Los daños más frecuentes son colmatación y embanque de los pozos.

Características físico químicas del agua para consumo humano

Las características físicas del agua para consumo humano (color, olor, sabor, temperatura y turbiedad) no arrojan valores fuera los parámetros fijados por los entes de control.

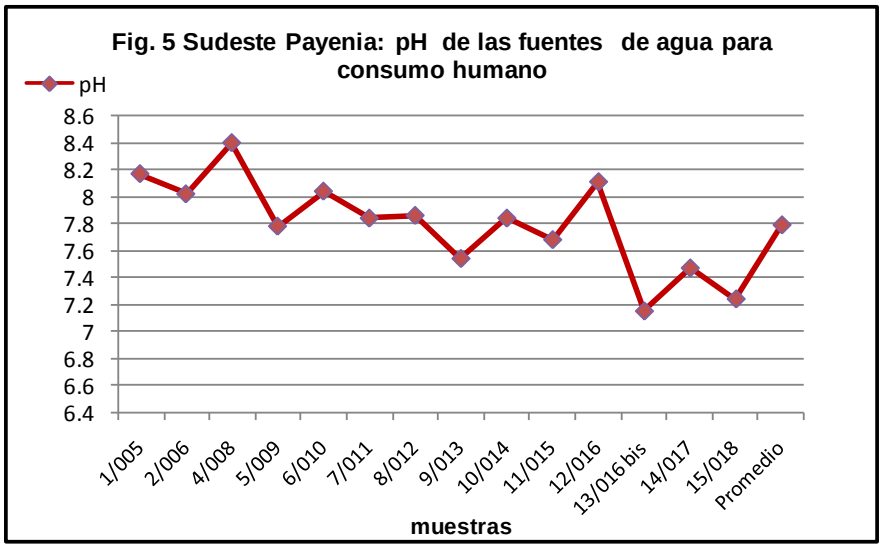
Características químicas

Sólo se analizan los elementos cuyos valores están por encima de los límites establecidos por los organismos sanitarios, y que pueden estar influyendo en la calidad del agua para consumo humano.

pH

El pH indica la acidez o basicidad de una solución.

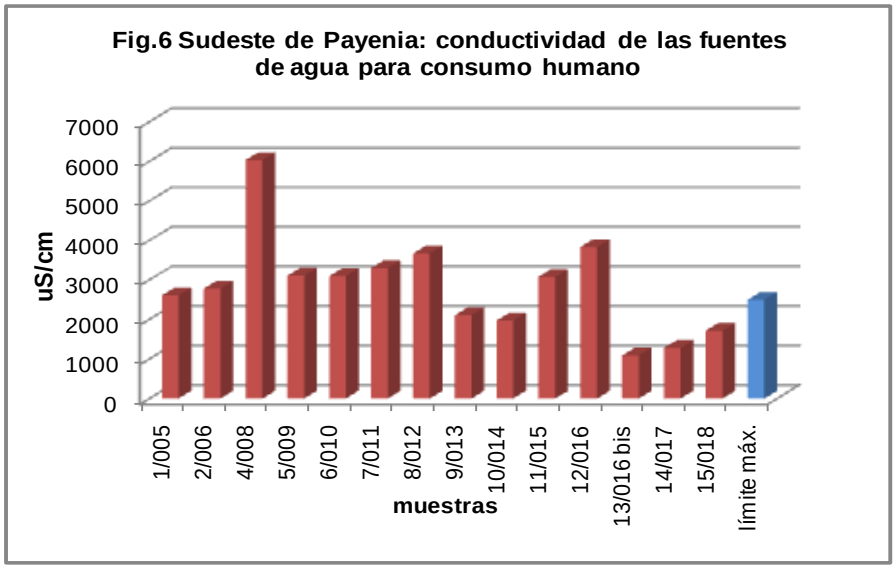
El promedio de pH de los puntos muestreados es de 7.79. Más del 50% de los mismos tienen un pH mayor a la media, lo que indica que las aguas son básicas y están dentro de los límites máximos que establecen los organismos sanitarios (6.5-8.5) Fig.5



Conductividad

La conductividad eléctrica (uS/cm), es la capacidad que tienen las sales inorgánicas en solución para conducir la corriente eléctrica. El agua con sales disueltas es buena conductora de la corriente eléctrica.

En este caso, los niveles de conductividad en el 50% de las muestras superan el límite máximo establecido (2500 uS/cm), estando por encima de los (3000 uS/cm). Fig. 6

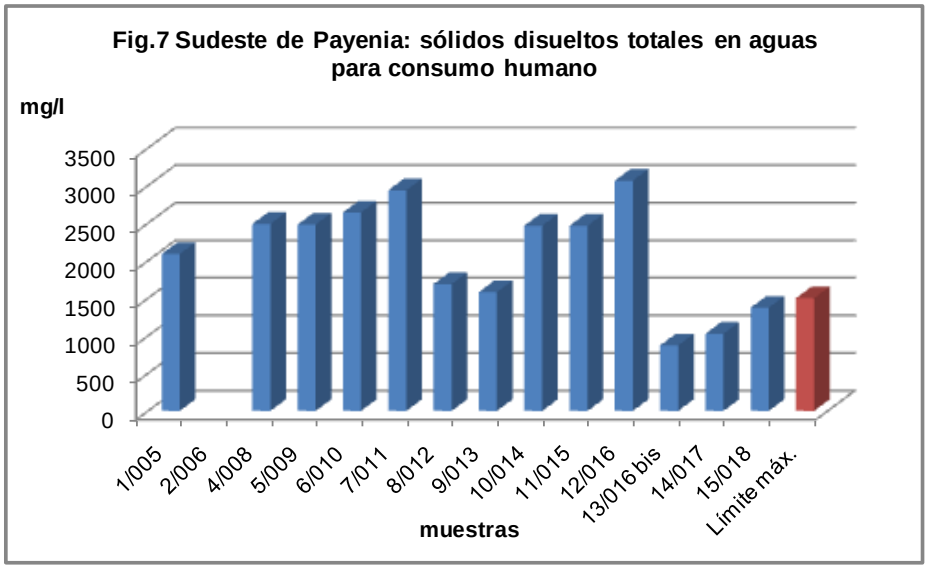


TDS Sólidos Disueltos Totales

Los sólidos disueltos totales (SDT) comprenden las sales inorgánicas (principalmente de calcio, magnesio, potasio y sodio, bicarbonatos, cloruros y sulfatos) y pequeñas cantidades de materia orgánica que están disueltas en el agua. Proceden de fuentes diversas: naturales, aguas residuales, escorrentía urbana y aguas residuales industriales. (OMS, 2003).

Los pozos analizados muestran alto contenidos de T.D.S., superando ampliamente lo establecido por el Código Alimentario Argentino cuyo límite máximo es de 1500 mg/l, estando vinculado con las características del sustrato geológico de la zona. Fig.7

El punto de muestreo 2/006 presenta un altísimo contenido de T.D.S. (222.422mg/l). Dado que el valor se aleja demasiado del resto no fue graficado.

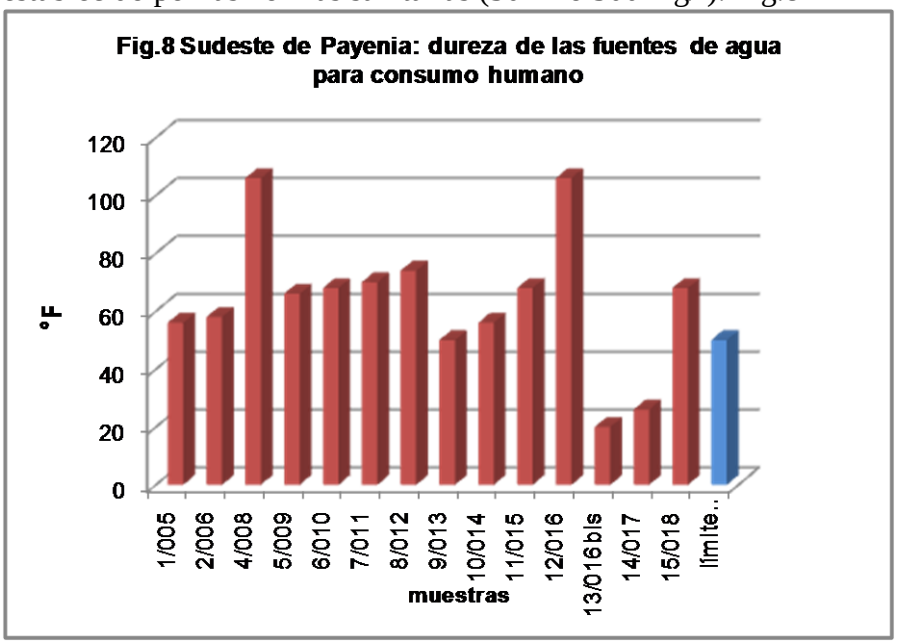


Dureza total

La dureza del agua es la concentración total de iones alcalinotérreos . Se calcula, genéricamente, a partir de la suma de las concentraciones de calcio y magnesio existentes (miligramos) por cada litro de agua. Un agua es dura cuando su contenido en iones disueltos Ca^{2}+ y Mg^{2}+ excede
lo tolerado para el uso al que se destina.

El agua dura normalmente se origina en áreas donde la capa superior del suelo es gruesa y existen formaciones calcáreas. El calcio es el principal componente de la dureza en el agua y generalmente se encuentra en un rango de 5 a 500 mg/l en la forma de $CaCO_3$, (2-200 mg/l, como Ca). Este ión está presente en muchos minerales, sobre todo en la piedra caliza y en el yeso. Con frecuencia, los depósitos de piedra caliza (formada por calcita y dolomita), corresponden a residuos de fósiles de pequeños organismos acuáticos, como los pólipos, que tomaron el calcio del agua del mar en el cual vivían, y lo utilizaron para formar sus esqueletos.

Cerca del 80% de los pozos muestreados tienen una dureza superior al parámetro establecido por las normas sanitarias (50 °F ó 500 mg/l). Fig.8

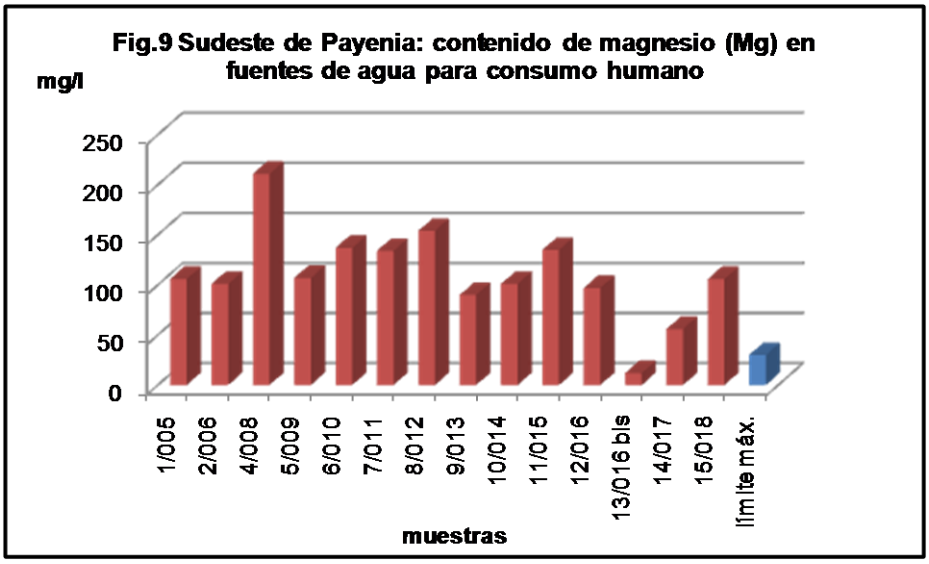


Magnesio (Mg)

El magnesio, por lo general, corresponde aproximadamente a una tercera parte de la dureza
total, siendo las dos terceras partes restante la dureza causada por el calcio. El magnesio varía en forma típica entre 40 y 200 mg/l en la forma de CaCO3 (10-50 mg/l, como Mg).

Al igual que el calcio, es un componente primordial de muchos minerales, tales
como la dolomita, magnesita (MgCO3) y muchas variedades de arcilla.

En el área de estudio el contenido de magnesio es altísimo en el 90% de los pozos muestreados, superando ampliamente el valor fijado por la OMS de (30mg/l), cuadriplicándose en la mayoría de los casos. La determinación más alta corresponde a una fuente antigua situada en la zona de Ñirreco, con un valor 6,5 veces más elevado al establecido. Fig.9



De acuerdo a esta clasificación las aguas del área de estudio son muy duras ya que la mayoría excede los 180mg/l de $CaCo_3$.

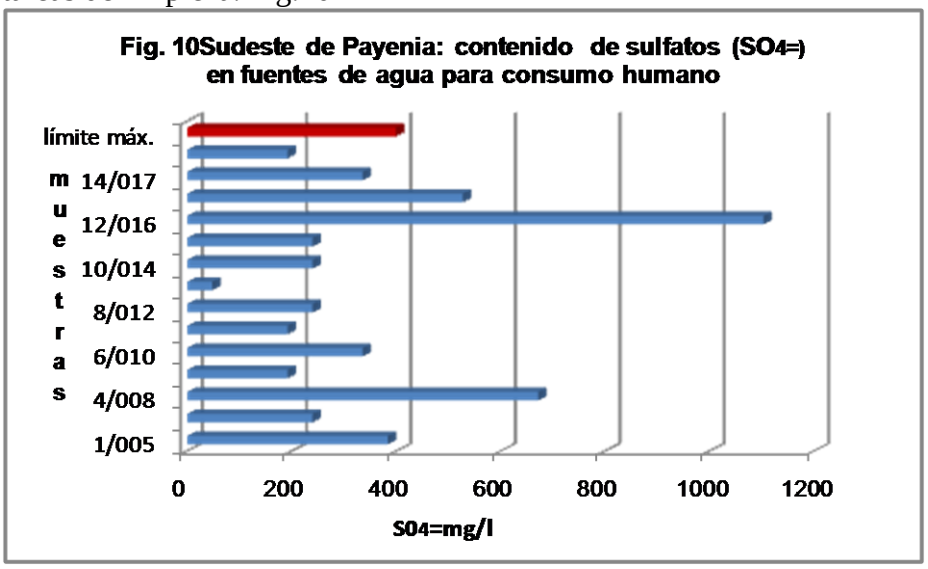
Diversos estudios sostienen que el exceso de magnesio provoca un sabor amargo en las aguas y tiene efectos laxantes especialmente en niños y ancianos.

Entre los posibles efectos adversos del consumo de aguas duras que aún se están estudiando, está la relación entre el exceso de dureza en el agua y enfermedades cardiovasculares, uro litiasis, alteraciones en la piel, entre otras.

Sulfatos ($SO_4^=$)

Concentraciones altas de sulfatos, suelen encontrarse en aguas subterráneas y provienen de fuentes naturales. En general, la ingesta diaria media de sulfato procedente del agua de consumo, el aire y los alimentos es de aproximadamente 500 mg, siendo los alimentos la principal fuente. Sin embargo, en regiones cuyas aguas de consumo contienen concentraciones altas de sulfato, el agua de consumo puede ser la principal fuente de ingesta. (OMS, 2003).

En la zona, existen tres sitios con altas concentraciones de sulfatos, un puesto en el paraje Ñirreco al sureste, y los restantes puntos corresponden a la planta de agua El Cortaderal (de la que beben agua unas 80 personas) y el pozo homónimo que muestra la concentración más alta (1104mg/l). Este último no se utiliza para bebida, sólo para tareas de limpieza. Fig.10



Cloruros

Los cloruros son indicadores de salinidad en el agua y están asociados a la presencia de sodio en el agua. También le comunican dureza al agua, (OMS, 2005).

El 57% de las muestras posee alto contenido de cloro, (Fig.11). El puesto con la determinación más alta (1276.30 mg/l) corresponde a la localidad de Ñirreco. No realiza tratamiento con cloro y tiene altísimos niveles de dureza. Existen otros dos puntos cercanos al Cortaderal que también poseen niveles altos de cloro y la dureza de las aguas es elevada. En estos pozos se realiza tratamiento con cloro.

El 70 % de los pobladores agrega cloro al agua para desinfectar.

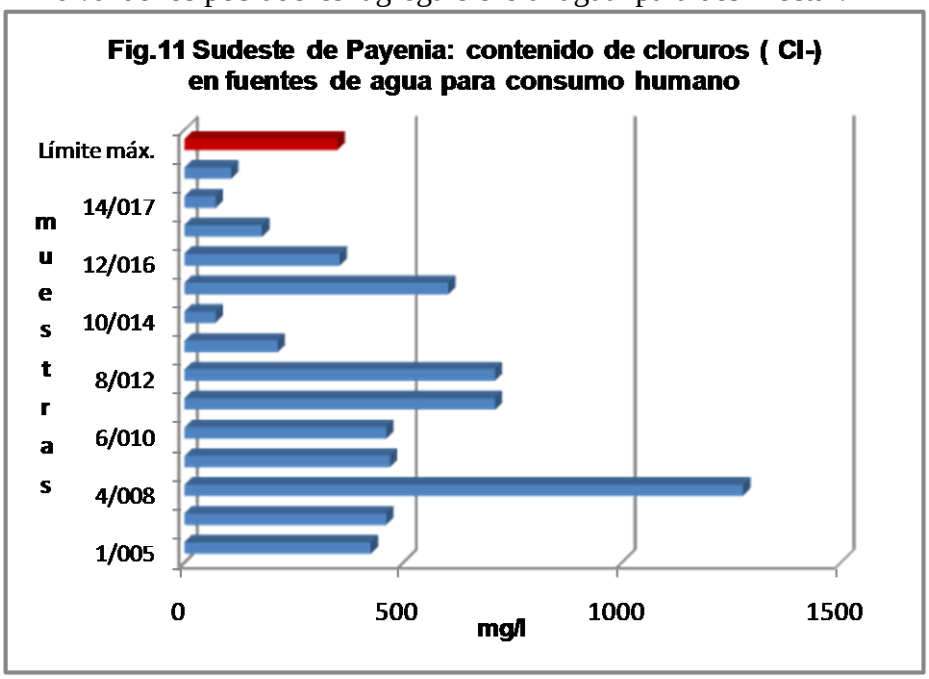


Fig.11 Sudeste de Payenia: contenido de cloruros (Cl-) en fuentes de agua para consumo humano

Aluminio (Al), Amonio, (NH^+_4), hierro (Fe), manganeso (Mn), Zinc (Zn).

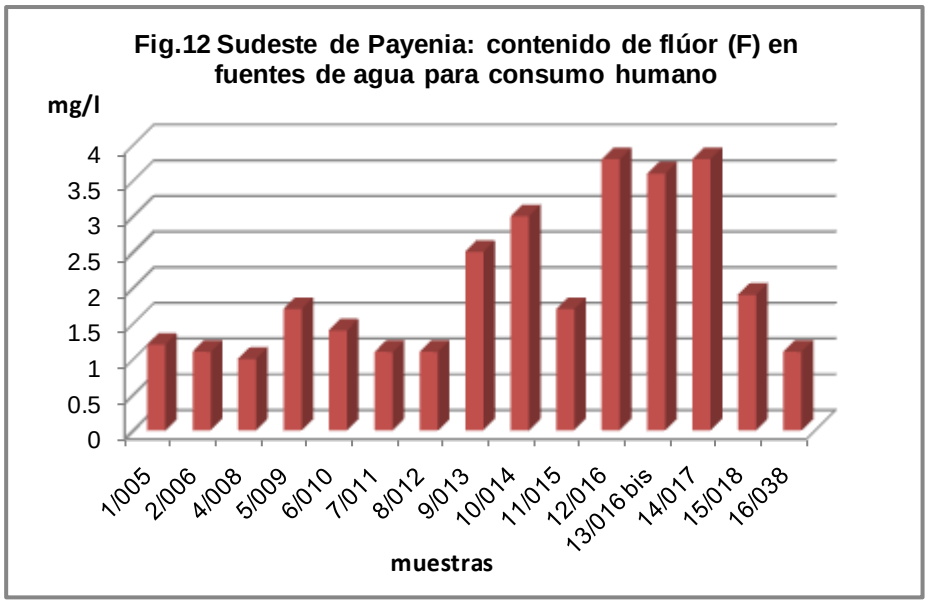
Todos los valores están por debajo del límite máximo establecido.

Tóxicos inorgánicos

Flúor (F)

Uno de los elementos que pueden generar efectos adversos en la salud es el flúor. La exposición a concentraciones altas de fluoruro, de origen natural, puede generar manchas en los dientes y en casos graves, fluorosis ósea incapacitante.

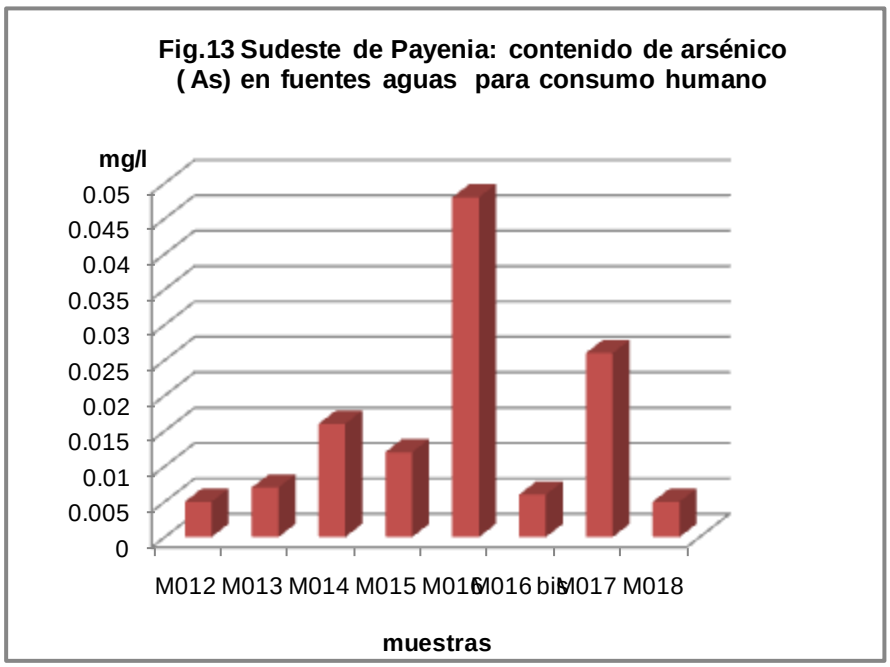
Los datos preliminares en la determinación de flúor en las muestras analizadas del área arrojan en el 50% de las mismas, valores superiores a los establecidos por el Código Alimentario Argentino y el Ente Provincial del Agua y de Saneamiento (EPAS) (1,5 mg/l).Los valores más elevados (entre 2,5 y 3,8 mg/l), se detectan en los pozos de agua de La Peligrosa, La Matancilla y El Cortaderal. La planta de agua potable, el pozo de extracción de esta última localidad duplican el contenido estipulado y abastecen a toda la población del paraje que es de aproximadamente unas 70 personas. Fig.12



Arsénico (As)

El arsénico se encuentra usualmente en aguas subterráneas, y resulta tóxico para la salud humana cuando supera los parámetros establecidos. El estándar establecido por la OMS es de 0,01 mg/l. No obstante el 47 % de los países tiene concentraciones mayores a estos niveles. En el caso de Argentina el límite aceptado es de 0,05mg/L.

Los valores determinados en el área de estudio, están por debajo de lo establecido por las normas sanitarias. La mayor determinación siempre menor a la norma (0, 05mg /l), corresponde al pozo de agua El Cortaderal que no se utiliza para consumo humano con (0,045 mg/l). (Fig.13). Cabe recordar que este sitio cuenta con una planta Ósmosis Inversa.



Cobre (Cu), Plomo (Pb), Plata (Ag), Cromo (Cr) Cadmio (Cd)

Las determinaciones realizadas están por debajo de los límites máximos establecidos por el Código Alimentario Argentino para aguas de consumo humano.

DISCUSIÓN y RESULTADOS

Los análisis realizados hasta el momento revelan que las fuentes de agua muestreadas, son alcalinas con un elevado nivel de conductividad ya que la presencia de sales es alta. Los Sólidos Disueltos Totales (TDS) están por encima de lo permitido en más del 70% de las fuentes, lo que denota la existencia de sales inorgánicas tales como calcio, magnesio, cloruros y sulfatos.

La presencia de carbonatos de calcio y magnesio supera en el 80% de las fuentes muestreadas los límites máximos establecidos por el Ente Provincial de Agua y Saneamiento y por el Código Alimentario Argentino. Se trata de aguas muy duras ya que la mayoría de los pozos excede significativamente el contenido de $CaCO_3$ y de Mg que se cuadruplica en muchos casos.

En cuanto a los sulfatos, no son mayoritarios, sólo tres fuentes presentan un contenido superior al establecido: el pozo y la planta de agua potable de El Cortaderal y el puesto de la familia Parra en Nirreco.

Respecto de los cloruros la determinación es mayor a los parámetros fijados en el 50% de las muestras, lo que estaría relacionado con la salinidad de las aguas.

Los valores de nitratos, aluminio (Al), amonio, (NH+4), hierro (Fe), manganeso (Mn) y zinc (Zn), están por debajo del límite máximo establecido para cada elemento.

Dentro de los tóxicos inorgánicos, el flúor es el único elemento que está presente en niveles superiores a los permitidos especialmente en los pozos de agua de La Matancilla y El Cortaderal.

CONCLUSIONES

Los resultados preliminares de las fuentes analizadas hasta el momento permiten arribar a las siguientes conclusiones:

Predominan los pozos de escasa profundidad, labrados con rocas de la zona en forma manual y tienen una antigüedad mayor a los 80 años. La mayoría están protegidos para evitar el contacto del agua con el ambiente inmediato.

Un porcentaje importante (70%) realiza tratamiento (agregado de gotas de cloro) al agua antes de consumirla.

Algunas fuentes se han visto afectadas temporariamente por crecientes que se desatan en verano debido a las tormentas eléctricas que afectan a la región.

Las características fisicoquímicas indican que el agua no es de buena calidad ya que presenta exceso de sales, alcalinidad y dureza por el alto contenido de iones de calcio y magnesio. Esta condición se relaciona con la existencia en sectores donde se ubican precisamente los puestos, de rocas calcáreas y yesíferas de las Formaciones Neuquén y Malargüe del cretácico superior de era Mesozoica.

El contenido de flúor es importante (más del doble del límite permitido) en el centro y norte del área de estudio en los parajes de La Matancilla y El Cortaderal, éste último sitio abastece al mayor número de habitantes del lugar, unas 70 personas.

El contenido de arsénico es bajo, situación que contrasta con los estudios realizados en la década del 60 donde los valores eran levemente mayores.

Tres sitios muestran en la mayoría de los parámetros fisicoquímicos, determinaciones mayores a los permitidos por los entes reguladores, demostrando que las aguas son de mala calidad para el consumo humano, éstos son puestos Parra en Ñirreco, La Matancilla y El Cortaderal.

REFERENCIAS

Barbero N., Castaño Gañan A., 2012. Análisis fisicoquímico de las aguas del Río Salado y sus afluentes principales, ICES- CNEA, Regional Malargüe, Plan Estratégico Malargüe, Municipalidad de Malargüe, Mendoza, Argentina.

Capitanelli R., 1967. Climatología de Mendoza; Editorial de la Facultad de Filosofía y Letras de la Universidad Nacional de Cuyo. Colección Cumbre Andina. Edición facsimilar 2005.

Código Alimentario Argentino, 2012. Capítulo XII, Bebidas hídricas, agua y agua gasificada agua potable, Artículo 982 a 984.

Ente Provincial del Agua y Saneamiento, 2012. Informe técnico de laboratorio N°026/14, calidad de agua Escuela Carlos Rusconi El Cortaderal, Gerencia de Auditoría, Gobierno de Mendoza.

Ente Provincial del Agua y Saneamiento. Resolución N°35/96. Normas de calidad de agua y efluentes, anexos I y II, Gobierno de Mendoza.

Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, 2005. Estudios Hidrológicos, Hidráulicos y Ambientales, Laguna Llancanelo, Universidad Nacional de Córdoba.

González Díaz E., 1979. Descripción Geológica de la Hoja 31d "La Matancilla". Servicio Geológico Nacional, Buenos Aires, Argentina.

González Díaz E., 1972.Descripción Geológica de la Hoja 30 e "Agua Escondida". Servicio Nacional Minero Geológico, Buenos Aires, Argentina.

Gutiérrez N. M., 2006. Dureza en aguas de consumo humano y uso industrial. Impactos y Medidas de Mitigación. Estudio de caso: Chile, Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Departamento de Ingeniería Civil, Santiago de Chile.

Hidalgo V., Pérez A., 2011 (inédito). Incidencia del agua consuma en la zona de influencia del Centro de Salud N°127 "El Cortaderal" como determinante de prevalencia de hipertensión arterial en sus habitantes, Ciclo de Licenciatura en Enfermería sede Malargüe, Facultad de Ciencias Médicas, Universidad Nacional de Cuyo.

Ley 6044/93, de Reordenamiento Institucional del Sector Agua Potable y Saneamiento

Organización Mundial de la Salud, 2006. Guías para la calidad del agua potable. Vol1, tercera edición.

Trombotto, Ramires A., Sánchez G. ,2010 ¿Descubrimiento del Permafrost Payenino? Sesión Poster E- ICES-6, Malargüe, Mendoza, Argentina.

Valencia, J.L., 2007.Estudio estadístico de la calidad de las aguas en la cuenca hidrográfica del río Ebro. Tesis doctoral, Madrid, España.

World Health Organization ,2011. Arsenic in Drinking-water. Background document for development of WHO Guidelines for Drinking-water Quality .

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue posible gracias a la colaboración de las siguientes personas e instituciones:

Dra. Silvia Farias, quién realizó el análisis de las muestras de arsénico. Laboratorio de Espectroscopía de Emisión. Grupo Fundamentos Metodologías Analíticas. Unidad de Actividad Química, Comisión Nacional de Energía Atómica. Argentina, LEE-ARG.

Ex Subcomisario Mauricio Ferreyra de Seccional 24 de Policía de Malargüe por el préstamo de movilidad a los sitios de muestreos y la cooperación con personal en las tareas de campo: agentes Juan Mora, Rafael Barrasa y José Lamas.

Coordinador del Área de la Salud Malargüe Sr. Cristóbal Villar y personal a su cargo enfermera Aída Pérez, por los aportes con datos y préstamo de instalaciones del Centro de Salud El Cortaderal, Malargüe.

Sr. Dimas Moya por compartir sus conocimientos de la región y préstamo de movilidad.

Puesteros: Ciro Moyano , Ilsa Moyano, Paulino Hurtado , Filomena Parra, Lino Parra, Antonia Sosa de Tapia ,Orlando Tapia, Pedro Tapia ,Gabriela Muñoz, Delfo Villarroel , Juana Parra, Lucas Villarroel , Mercedes Yantén , Rubén Puebla, Estela Vilchez , Merardo Pueba , Andolina Cerna, Domingo Sosa y familia, Adelina Heredia ,Bernabé Correa, Antonio Peletay y familia, Maximino Cerna y familia.

CARACTERIZACIÓN GEOHIDROLÓGICA DE LAS FUENTES DE AGUA DULCE EN BAHÍA SAN BLAS, BUENOS AIRES

Reato, Agustina [a]; Carol, Eleonora [a,b]

[a]Cátedra de Hidrología General de la Facultad de Ciencias Naturales y Museo, FCNyM, Universidad Nacional de La Plata. ARGENTINA
[b]Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas, CONICET, ARGENTINA

e-mail: agustinareato@yahoo.com.ar

RESUMEN

El sur de la provincia de Buenos Aires (Argentina) tiene un clima semiárido con excesos nulos de agua que favorecen la formación de salitrales. En este ambiente existe un predominio de agua subterránea salina, condición que determina una limitante para el desarrollo de la población en la región. Bahía San Blas es una localidad ubicada en el litoral sur de la provincia, y cuenta con cerca de 600 habitantes. El abastecimiento de agua de dicha localidad se realiza a partir de la explotación de lentes de agua dulce alojadas en cordones litorales. El objetivo del trabajo es realizar una caracterización geohidrológica de dichas lentes en relación a la calidad de agua y la recarga a partir del régimen de lluvias. Las características geomorfológicas, geológicas e hidrológicas se estudiaron a partir del análisis de cartas topográficas, imágenes satelitales y perfiles de perforaciones de agua. Se procesaron datos químicos extraídos en los años 1995,1999 y 2010 procedentes de los pozos de abastecimiento de agua para evaluar la calidad de la misma. Para cada año muestreado se realizaron balances hidrológicos para evaluar los excesos y déficit de agua. Los resultados obtenidos muestran que los cordones litorales constituyen áreas de topografía elevada y alta permeabilidad que favorecen la infiltración del agua de lluvia, la cual se acumula formando lentes de agua dulce. La calidad del agua varía espacial y temporalmente presentando en sectores algunas limitaciones de potabilidad. Si bien la capacidad de abastecimiento de estas lentes es baja, el estudio realizado permite generar bases para el manejo del recurso hídrico que tiendan a un mejor aprovechamiento y uso sustentable.

INTRODUCCIÓN

La escasez de agua en una región es un concepto relativo asociado a la demanda de agua por las actividades humanas para cubrir sus necesidades mínimas relacionadas al bienestar social y sanitario, las actividades económicas y la conservación de los recursos naturales (Custodio y Cabrera 2002). Más de la mitad del territorio argentino pertenece a zonas áridas y semiáridas donde el balance hidrológico presenta un déficit de agua en la totalidad o gran parte del año. El desarrollo poblacional en estas áreas resulta a veces limitado dado que la demanda de agua para consumo humano no siempre puede satisfacerse con los recursos hídricos propios del lugar.

Bahía San Blas es una localidad con cerca de 600 habitantes ubicada al sur de la Provincia de Buenos Aires, en el borde oriental de la misma (ver Fig. 1). Puntualmente, la localidad se emplaza en la Isla Jabalí, separada del resto del continente por el río homónimo. Dentro de la isla, la geomorfología está representada por un relieve suave, con presencia de salitrales relacionados al recorrido del arroyo, y un amplio predominio de cordones litorales subparalelos a la costa. También existen evidencias de médanos activos y vegetados como geoformas de depositación, y acantilados activos e inactivos como formas de erosión (Luna et al. 2010).

El clima de la región es semiárido, mesotermal, de concentración térmica estival y la temperatura promedio oscila entre 12°C y 16°C (Luna et al. 2010). En el área de Bahía San Blas existe un predominio de agua subterránea salina, condición que determina una limitante para el desarrollo de la población. El abastecimiento de agua de dicha localidad se realiza a partir de la explotación de lentes de agua dulce alojadas en cordones litorales. El objetivo del trabajo es realizar una caracterización geohidrológica de dichas lentes en relación a la calidad de agua y la recarga a partir del régimen de lluvias.

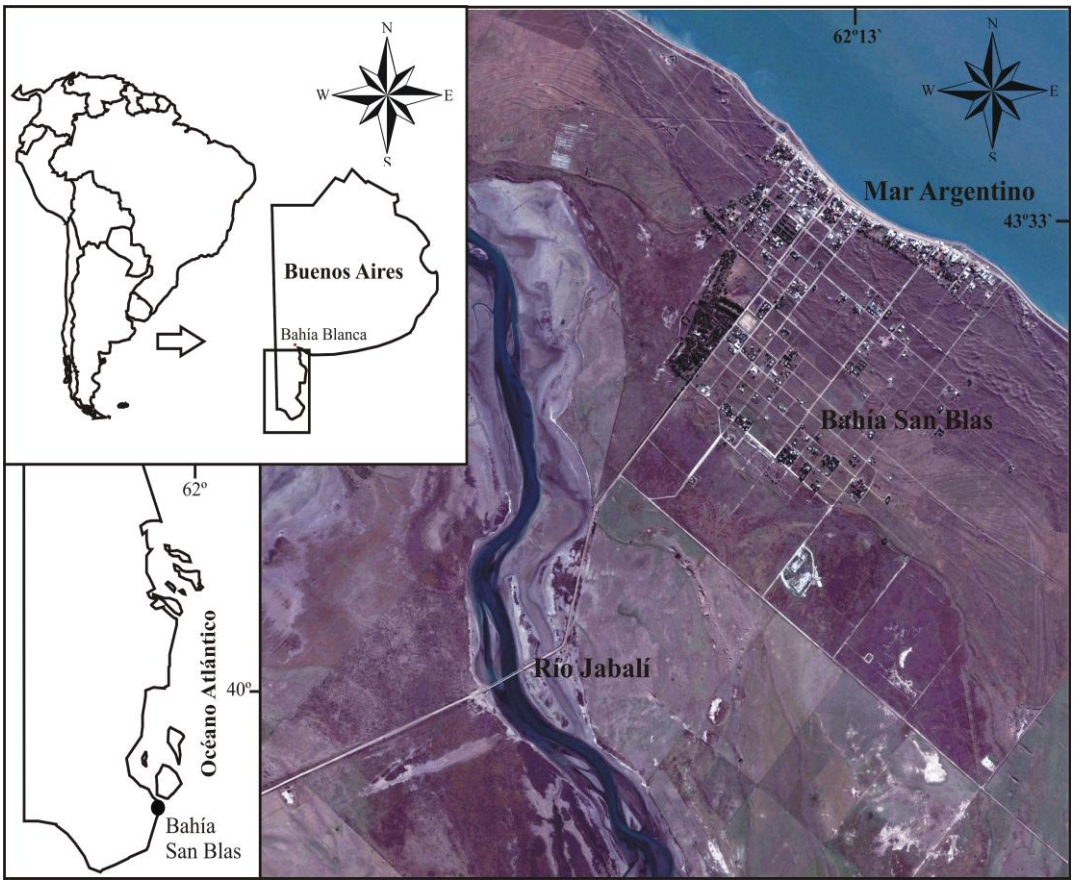


Figura 1-Ubicación de Bahía San Blas, Provincia de Buenos Aires.

METODOLOGÍA

Las características geológicas, geomorfológicas e hidrológicas del área se definieron a partir del análisis de información antecedente, cartas topográficas, imágenes satelitales procedentes del satélite QuickBird tomadas desde el Google Earth y registros litológicos de perforaciones de agua.

Se utilizaron datos de precipitaciones mensuales para realizar balances hidrológicos con el fin de estudiar los excesos y déficit de agua. Los balances hidrológicos se realizaron en base a la metodología Thornthwaite- Matther (1955). Se analizó el periodo 1995-2010, utilizando los valores de precipitación y de temperatura media mensual, correspondientes a la estación del Servicio Meteorológico Nacional ubicada en Bahía Blanca. Asimismo, se efectuó un balance hidrológico anual para cada año en donde se efectuaron los muestreos de agua subterránea.

La evaluación de la calidad del agua subterránea se efectuó en base a datos químicos correspondientes a perforaciones de abastecimiento de la red de agua potable,

correspondientes a los años 1995, 1999 y 2010. Los mismos pertenecen a los monitoreos que realiza el Servicio Provincial de Agua Potable y Saneamiento Rural (SPAR) en dicha localidad. Los análisis químicos cuentan con determinaciones de pH, sólidos totales disueltos, cloruro, sulfatos, dureza, nitratos, fluoruros y arsénico.

La recolección, preservación y análisis químicos de las muestras de agua fueron realizadas según los métodos establecidos por la American Public Health Association (APHA 1998). El pH fue determinado a partir del método potenciométrico, la cantidad de sólidos totales disueltos o salinidad (STD) fue determinada por gravimetría (método conductimétrico). La dureza como carbonato de calcio ($CaCO_3$), calcio (Ca^{2+}), carbonato (CO_3^{2-}), bicarbonato (HCO_3^-) y cloruro (Cl^-) fueron determinados por métodos volumétricos. El sulfato (SO_4^{2-}) fue medido por nefelometría, el nitrato (NO3-) y el fluoruro (F-) fueron determinados por el método fotométrico, y el arsénico por el método colorimétrico.

Los pozos de abastecimiento se distribuyen en tres sectores dentro de la Bahía San Blas, (ver Fig.2) encontrándose principalmente en los cordones litorales, y en menor medida en las unidades medanosas.

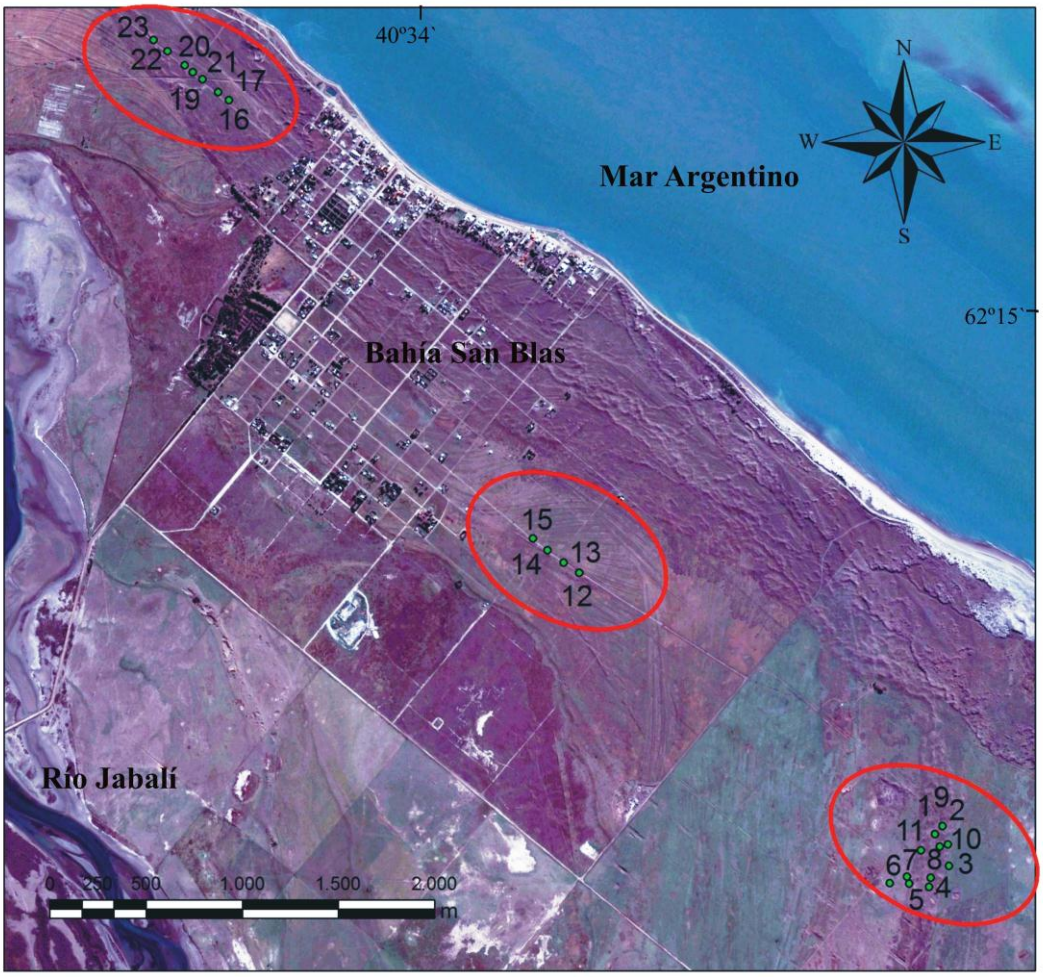


Figura 2. Ubicación de las perforaciones de agua dentro de la localidad de Bahía San Blas.

RESULTADOS

El análisis de los registros de perforaciones realizados en los cordones litorales muestra que las características hidrolitológicas son similares en los tres sectores donde se ubican los pozos de abastecimiento (ver Fig, 2), las cuales tienen 20 m de profundidad y abarcan el total del espesor del acuífero freático que aloja las lentes de agua dulce (ver Fig. 3).

De base a techo, la secuencia comienza con un nivel de 3 m de espesor constituido por arcillas marrones muy plásticas, que se continúan con un estrato de 2,5 m de arcillas limosas marrones, seguidas por 1 m de arenisca compacta de color marrón con finos niveles de arcilla. A continuación se describe 1 m de areniscas limosas con abundante arcilla plástica de coloración marrón, seguido por 0,5 m de arenisca compacta de color gris azulado. Toda esta secuencia corresponde a depósitos Paleocenos de características acuícludas en la base que cambian a acuíferas en el techo. Estas secuencias pasan transicionalmente a depósitos holocenos, compuestos por 3,5 metros de grava fina (de 6 a 7 mm), con abundante contenido de arena fina de color gris azulado. Por encima hay 8,5 m de arena media a fina de coloración marrón clara, correspondiente a una unidad medanosa, este nivel es ocasionalmente intercalado por un nivel de gravilla con abundantes restos de bivalvos. El conjunto de depósitos holocenos constituyen la principal unidad acuífera del área la cual es recargada por las lluvias.

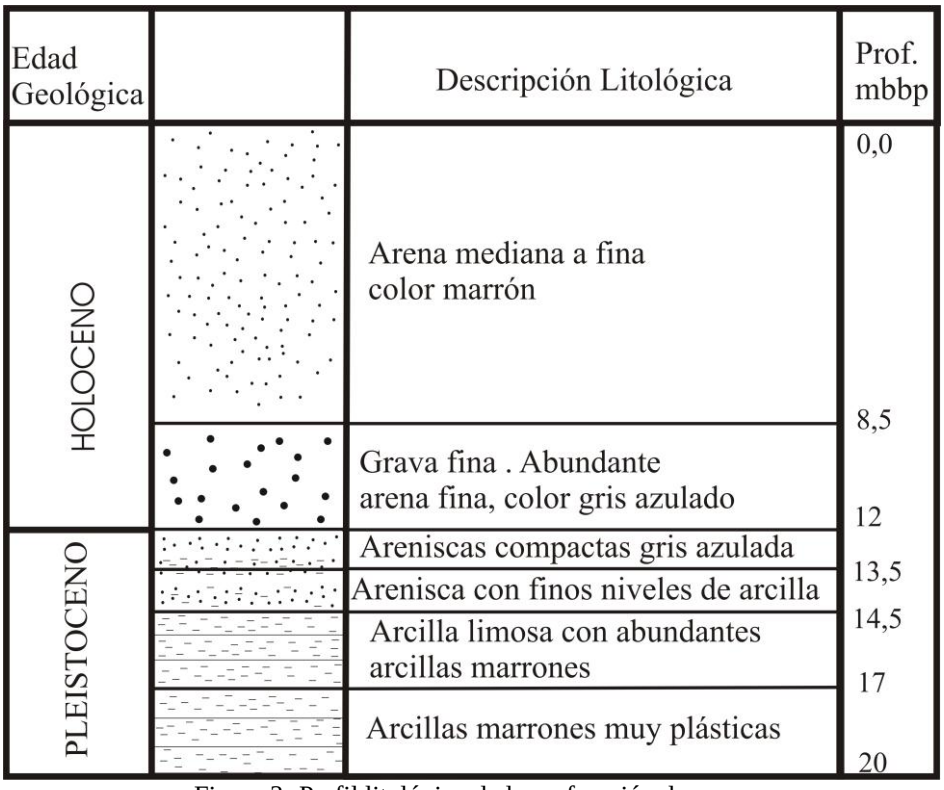


Figura 3- Perfil litológico de la perforación de agua.

Los registros de precipitaciones para Bahía Blanca, una de las localidades más cercanas a Bahía San Blas, muestran un promedio anual de 663 mm para el periodo que va desde el año 1995 al 2010. En la tendencia general de los registros se observan mayores precipitaciones en los meses de verano, entre diciembre y febrero y precipitaciones mínimas durante los meses de mayo y agosto principalmente (ver Fig. 4). El balance hídrico realizado para este periodo muestra que entre abril y octubre las precipitaciones

exceden a la evapotranspiración potencial, favoreciendo la recarga del acuífero. Por su parte, entre noviembre y marzo dominan los procesos de evapotranspiración, principalmente en los meses de diciembre y enero donde se registran las mayores temperaturas.

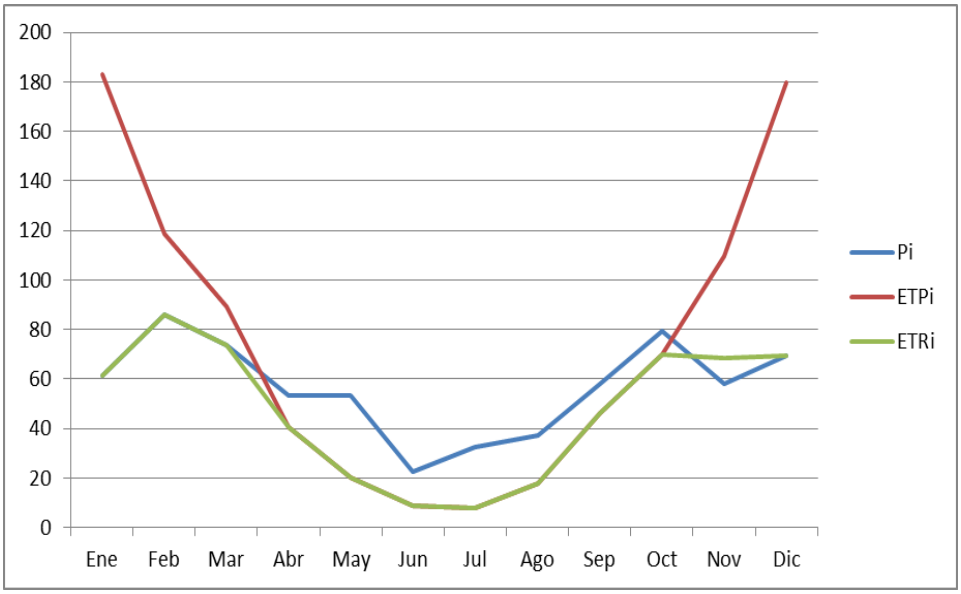


Figura 4. Gráfico de Balance Hídrico (período 1995-2010). Pi; Precipitación anual. ETPi; Evapotranspiración potencial. ETRi; Evapotranspiración real.

Las precipitaciones para los años muestreados (1995, 1999 y 2010) registran valores anuales de 471 mm, 613 mm y 587 mm respectivamente. El año 1995 presenta un máximo de precipitaciones en el mes de marzo, con 107 mm y precipitaciones nulas durante el mes de julio, registrando el balance hídrico excesos sólo en el mes de marzo (ver Fig. 5). Para el año 1999, las mayores precipitaciones corresponden nuevamente al mes de marzo, con 126 mm, siendo el mes de abril el menos lluvioso, con 8,4 mm. Las precipitaciones superan a la evapotranspiración potencial en marzo, mayo y julio durante este año. En 2010 el mes con mayores precipitaciones corresponde a febrero con 167 mm, donde al igual que en junio estas exceden a la evapotranspiración potencial, mientras que en agosto no se registraron lluvias (ver Fig. 5).
Para el año 1995 y 1999 se cuenta con análisis químicos de la batería de pozos ubicados al sureste de la localidad de Bahía San Blas. En 1995 los muestreos se realizaron en el mes de agosto, luego de tres meses con precipitaciones inferiores a 10 mm en los cuales la evapotranspiración potencial es mayor a estas. Pese a la escasa recarga del acuífero se observan que de un total de ocho pozos sólo uno presenta problemas de salinización. Esta salinización se encuentra generalmente asociada a un aumento en cloruros registrándose valores por encima del límite de potabilidad establecido por el Código Alimentario Argentino (CCA, 2007) de este anión en dos pozos (ver Tabla 1). Las mayores limitantes se asocian a los contenidos en fluoruro los cuales presentan valores no aptos para abastecimiento humano en el 50% de los pozos. Por su parte, una muestra registra también excesos de arsénico.

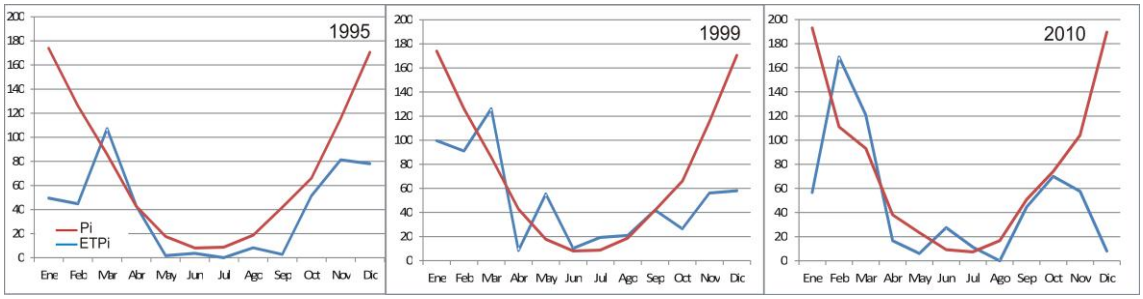


Figura. 5. Gráfico de balances hídricos para los años año 1995, 1999 y 2010. Pi; Precipitaciones mensuales. ETPi; Evapotranspiración mensual.

Tabla 1. Datos químicos de las perforaciones correspondientes al 1 de agosto de 1995. Las concentraciones se expresen en mg/L y CAA indica el límite establecido por el Código Alimentario Argentino (2007) para el agua potable. En gris se indican los valores por encima del límite de potabilidad.

Pozo	pH	Cl	Dureza	SO4	Alcalinidad	F	STD	NO3	NO2	As
1	8,1	700	200	130	550	2,8	1770	8	0,01	0,01
2	7,9	400	300	70	450	1,7	887	10	0,01	0,01
3	8,4	190	120	29	400	1,8	815	2	0,01	0,01
4	7,8	185	220	21	350	1,5	740	6	0,01	0,01
5	8,5	160	120	12	350	1,7	710	8	0,01	0,05
6	7,4	190	120	22	400	1,5	755	2	0,01	0,01
7	7,7	285	210	18	460	1,4	1180	12	0,01	0,01
8	7,6	180	200	20	350	1,5	755	8	0,01	0,01
CAA	6,5-8,5	350	400	400	-	0,8-1,5	1500	45	0,1	0,01

Para el año 1999, las muestras fueron tomadas durante el mes de octubre, previo a este mes, las lluvias muestran un registro ascendente desde el mes de junio (10 mm), hasta septiembre (42 mm). Asimismo, desde mayo a septiembre la evapotranspiración es menor a las precipitaciones favoreciéndose en este periodo la mayor recarga del acuífero, respecto al año 1995. En los análisis químicos, no se observan incrementos en la salinización, donde las concentraciones de cloruros se encuentran dentro de los estándares permitidos por el CAA (ver Tabla 2). Sin embargo, el 100% de los pozos registran contenidos de arsénico superiores al límite de potabilidad, mientras que el ión fluoruro supera los valores normales en 5 de las 8 perforaciones analizadas. Asimismo, registros de pH alcalinos se observan en dos de las perforaciones.

Tabla 2. Datos químicos de las perforaciones correspondientes al 12 de octubre de 1999. Las concentraciones se expresen en mg/L y CAA indica el límite establecido por el Código Alimentario Argentino (2007) para el agua potable. En gris se indican los valores por encima del límite de potabilidad.

Pozo	pH	Cl	Dureza	SO4	Alcalinidad	F	STD	NO3	NO2	As
1	8,4	181	160	50	375	1,4	760	5	0,05	0,05
2	8,4	213	185	55	435	1,7	890	4	0,05	0,06
3	8,8	198	53	43	450	1,85	900	4	0,05	0,09
4	8,3	177	170	38	375	1,4	785	4	0,05	0,05
5	8,9	163	130	38	400	1,9	770	5	0,05	0,1

6	8,5	160	100	33	405	1,6	725	4	0,05	0,14
7	8,4	291	195	65	540	1,3	1140	4	0,05	0,1
8	8,5	515	140	86	540	2,6	1525	4	0,05	0,08
CAA	6,5-8,5	350	400	400	-	0,8-1,5	1500	45	0,1	0,01

Durante el mes de octubre de 2010, fueron analizaros los pozos ubicados en la zona central y noroeste de la localidad de San Blas. En los meses previos a octubre no se registran lluvias para el mes de agosto, mientras que para el mes de septiembre se contabilizaron 45 mm, incrementándose a 70 mm en el mes de octubre. En estos meses la evapotranspiración potencial supera a las lluvias. De los análisis químicos realizados, el fluoruro muestra valores superiores a los establecidos para el agua potable en el 100 % de las perforaciones, y también lo hace el nitrito, pero solo en 3 de 9 pozos (ver Tabla 3).

Tabla 3. Datos químicos de las perforaciones correspondientes al 19 de octubre de 2010. Las concentraciones se expresen en mg/L y CAA indica el límite establecido por el Código Alimentario Argentino (2007) para el agua potable. En gris se indican los valores por encima del límite de potabilidad.

Pozo	pH	Cl	dureza	SO4	Alcalinidad	F	STD	NO3	NO2	As
12	8,1	76	187	13	230	0,6	471	12	0,01	0,01
13	8,1	78	194	13	225	0,4	471	6	0,01	0,01
14	7,9	73	196	11	230	0,5	469	8	0,01	0,01
15	8	74	173	13	210	0,5	457	12	0,01	0,01
16	7,9	114	229	19	250	0,4	607	2	0,01	0,01
17	7,9	112	216	20	260	0,5	594	2	0,15	0,01
18	8	102	194	19	240	0,5	555	2	0,07	0,01
19	8	96	223	19	235	0,5	544	3	0,45	0,01
20	7,9	105	221	22	235	0,4	566	20	0,48	0,01
CAA	6,5-8,5	350	400	400	-	0,8-1,5	1500	45	0,1	0,01

DISCUSIÓN

En ambientes costeros donde domina el agua salina, la presencia de médanos, cordones litorales o paleocanales pueden dar lugar a la formación de lentes de agua dulce a partir de la infiltración de las precipitaciones (Wallis et al. 1991, Collins and Easley, 1999, Mass 2007, Carol et al. 2009, De Louw et al. 2011). Los resultados obtenidos muestran que los cordones litorales constituyen áreas de topografía elevada y alta permeabilidad que favorecen la infiltración del agua de lluvia, la cual se acumula formando lentes de agua dulce.

De los datos analizados, problemas de salinización vinculados a la recarga del acuífero, se observan únicamente durante el año 1995, donde la precipitación anual (471mm) es muy inferior al promedio anual registrado para el período que va desde 1995 a 2010 (663mm). Esta variación temporal asociada a la recarga del acuífero se evidencia en la comparación de los datos para una misma batería de pozos (pozos 1 a 8) donde la salinidad es mayor durante el año menos lluvioso. No obstante, a pesar de las bajas

precipitaciones, la elevada permeabilidad de los sedimentos de los cordones litorales (gravas y arenas) determina que igualmente ocurra la recarga del acuífero y sólo dos pozos de los ocho estudiados presente limitaciones en cloruros.
En relación a las variaciones espaciales, si bien no se cuenta con muestreos en un mismo periodo, la comparación de los datos entre las tres baterías de pozos muestra que en general las ubicadas en el noroeste y sector central (pozos 12 a 20) presentan menores salinidades, como también valores más bajos en cloruros, sulfatos, dureza y alcalinidad.
En la mayoría de los casos se registran muestras de agua con limitaciones para su consumo en relación a fluoruro y arsénico. La presencia de estos iones se asocia a factores geológicos, ligados a las características del loess, que corresponde a depósitos transportados por el viento (Tricart, 1973) y que constituyen en gran medida a los sedimentos de los cordones litorales. En medio acuoso el vidrio volcánico contenido en el loess se disuelve, aportando iones de fluoruro y arsénico al agua subterránea (Viswanathan et al. 2009).

CONCLUSIONES

Las lentes de agua dulce alojadas en los cordones litorales constituyen la principal fuente de agua para abastecimiento de la localidad de Bahía San Blas. La existencia y calidad química del agua en las mismas está íntimamente ligada al régimen de lluvias. No obstante, en años con escasas precipitaciones, sólo se registra una leve salinización, característica que evidencia la rápida infiltración del agua de lluvia que recarga a la lente aun en periodos de gran déficit hídrico. Las principales limitaciones para consumo humano se asocian a elevados contenidos en fluoruro y arsénico, ambos iones procedentes de la disolución de los componentes minerales que componen al acuífero.
El estudio realizado permite generar bases para comprender el funcionamiento de las fuentes de agua dulce en la región a utilizar en la gestión del recurso hídrico con el fin de lograr un mejor aprovechamiento y su uso sustentable.

AGRADECIMIENTOS

Los autores del trabajo quieren agradecer al Servicio Provincial de Agua Potable y Saneamiento Rural (SPAR) de la Provincia de Buenos Aires por los datos químicos y perfiles de pozos aportados.

REFERENCIAS

Carol, E., Kruse, E., Mas Pla, J., 2009. Hydrochemical and isotopical evidence of ground water salinization processes on the coastal plain of Samborombón Bay, Argentina. *Journal of Hydrology*, **365**: 335-345.

Código Alimentario Argentino. 2007. Especificaciones Código Alimentario Argentino. CAPÍTULO XII – Bebidas hídricas, agua y agua gasificada. Artículo 982

Collin, W., Easley, D., 1999. Fresh-water lens formation in an unconfined barrier-island aquifer. *Journal of the American Water Resources Association*, **35**: 1-21.

Custodio y Cabrera 2002. ¿Cómo convivir con la escasez de agua? El caso de las lslas Canarias. Boletín Geológico y Minero, **113**, 243-258.

De Louw, P., Eeman, S., Siemon, B., Voortman, B., Gunnink, J., Van Baaren, E., Oude Essink, G., 2011. Shallow rainwater lenses in deltaic areas with saline seepage. *Hydrology and Earth System Sciences*, **15**: 3659.

Luna A., Manzoco J., y Mercapide G. 2010. Informe de comisión Localidad de Bahía San Blas Partido de Carmen de Patagones. Servicio Provincial de Agua Potable y Saneamiento Rural. Inédito.

Maas, K. 2007. Influence of climate change and sea level rise on a Ghyben Herzberg lens, *Journal of Hydrology*, **347**, 223–228.

Thornthwaite, C. y Mather, J. 1955. The water balance. Certerton, N.J: Drexel Institute of Technology, Laboratory of Climatology **8**, 1-104.

Tricart, J., 1973. Geomorfología de la Pampa Deprimida. INTA, Colección Científica N°8 12: 202.

Viswanathan G., Jaswanth A., Gopalakrishnan S., Siva Ilango S., Adityal., G., 2009. Determining the optimal fluoride concentration in drinking water for fluoride endemic regions in South India. *Science of the Total Environment*, **407**: 5298-5307.

Wallis, T.N. Vacher H.L. Stewart M.T. 1991. Hydrogeology of freshwater lens beneath a holocene strandplain, Great Exuma, Bahamas. *Journal of Hydrology*, **125**: 93-109.

ESTUDIO DEL RECICLADO DE MATERIAL CORTICAL DURANTE LA SUBDUCCIÓN DE LA PLACA DE NAZCA MEDIANTE LA TÉCNICA DE ESPECTROMETRÍA DE MASAS CON ACELERADORES

D. Rodrigues[ab], A. Arazi[ab], D. Fracchia[a], S. Padilla[c] G.V. Martí[a]

[a]Comisión Nacional de Energía Atómica, Av. Gral. Paz, 1499, Bs. As., Argentina
[b]Consejo Nacional de investigaciones Científicas y Tecnológicas - CONICET, Rivadavia 1917, C.A.B.A., Argentina.
[c]Centro Nacional de Aceleradores, C/T. Alva Edison, 7, 41092, Sevilla, España.

e-mail:darodrig@tandar.cnea.gov.ar

RESUMEN

Durante la subducción de una placa oceánica por debajo de una placa continental, los sedimentos submarinos acumulados sobre la corteza oceánica pueden ser subducidos junto con la placa y de esta manera, una fracción del material subducido puede ser incorporado a los magmas que se generan por fusión parcial en el manto por debajo del borde continental. El reciclado de material cortical finaliza cuando los magmas se intruyen a lo largo del arco, o bien eruptan en forma de rocas volcánicas. El radionucleido ^{10}Be puede ser utilizado como trazador isotópico para estudiar este sistema, ya que su semivida de 1,39 millones de años resulta adecuada para un proceso con tiempos característicos del orden de los millones de años. Este radionucleido, producido por rayos cósmicos en la atmósfera, llega a la superficie terrestre por deposición húmeda y se incorpora en los sedimentos submarinos donde se lo observa en altas concentraciones, desde allí transita el proceso de reciclado por debajo de la placa continental hasta reaparecer en rocas y cenizas volcánicas. Mediante la técnica de Espectrometría de Masas con Aceleradores hemos determinado la concentración de ^{10}Be a diferentes profundidades en sedimentos submarinos sobre la placa de Nazca en la región del Punto Triple, y la concentración de ^{10}Be en cenizas eruptadas por los volcanes Peteroa, Quizapu, Puyehue, Chaiten, y Hudson. A partir del análisis de los resultados obtenidos, hemos podido establecer cotas para la cantidad de material reciclado durante la subducción de la placa de Nazca y su aporte en la conformación de los magmas eruptados por cada uno de los volcanes estudiados.

INTRODUCCIÓN

Durante la subducción de una placa oceánica por debajo de una placa continental, los sedimentos submarinos acumulados sobre la corteza oceánica pueden sufrir diferentes procesos. Pueden plegarse debido a los esfuerzos compresionales involucrados, pueden ser acretados sobre la placa continental o bien ser subducidos junto con la placa oceánica (ver Fig. 1). En este último caso, parte del material subducido puede ser incorporado a los magmas que se generan por fusión parcial en el manto por debajo del borde continental. El reciclado de material cortical finaliza cuando los magmas se intruyen a lo largo del arco, o bien se eruptan en forma de rocas y cenizas volcánicas.

La zona volcánica sur de los Andes se extiende entre los 33° y 46° latitud sur y es el producto de la subducción de la placa oceánica de Nazca debajo de la placa continental sudamericana (López-Escobar et al., 1993). Este sistema puede ser estudiado utilizando el radionucleido ^{10}Be, isótopo inestable del ^{9}Be, con una semivida de 1.39 M.a. El mismo es producido en la atmósfera terrestre por fractura de N y O inducida por protones y neutrones secundarios generados por rayos cósmicos de alta energía (McHargue et al., 1991). Este radionucleido llega a la superficie terrestre principalmente a través de las precipitaciones y se incorpora a los sedimentos submarinos. Tal es así que se han observado valores de hasta $3x10^{9}$ átomos por gramo en los sedimentos más jóvenes (Bourlès et al.., 1989). El ^{10}Be acompaña a los sedimentos durante la subducción y de ese modo resulta incorporado en los magmas del manto.

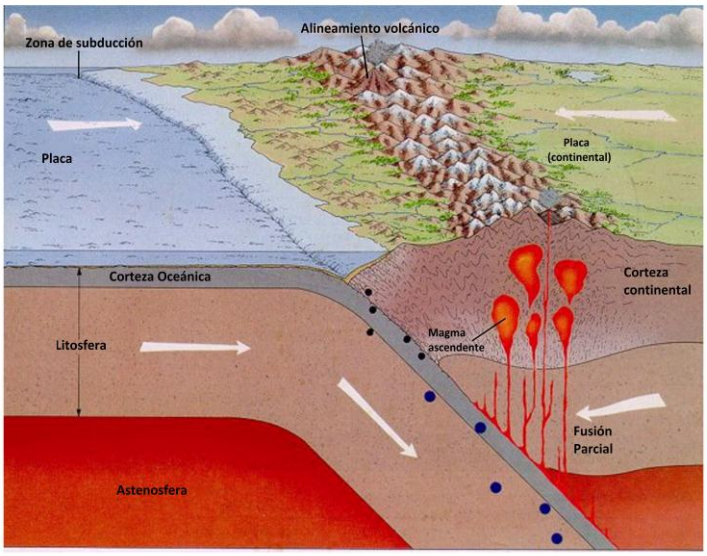


Figura 1: Esquematización de la zona de subducción donde pueden observarse las diferentes componentes involucradas.

La observación de ^{10}Be en rocas volcánicas (Tera et al., 1986; Morris et al., 1989) en el orden de los millones de átomos por gramo, resultó ser una fuerte evidencia de que los sedimentos submarinos se reciclan durante la subducción de placas tectónicas, ya que este radionucleido no puede provenir del manto terrestre por ser lo suficientemente viejo, en comparación con la semivida del ^{10}Be, como para que este último haya decaído completamente. Esto lo convierte en una herramienta ideal para estudiar este sistema.

El ^{10}Be fue ampliamente utilizado como trazador de este proceso (Tera et al., 1986; Sigmarsson et al., 1990; Morris et al., 1992). Sin embargo, la mayoría de los trabajos que intentaron hacer estimaciones sobre la cantidad de sedimentos subducido debieron hacer grandes suposiciones sobre el inventario de ^{10}Be en ellos presente (Brown et al., 1982; Morris et al., 1990). Para ello se utilizó la producción atmosférica y la posterior deposición en los sedimentos de este radionucleido. Asumiendo además, que su concentración decrece en profundidad debido a que cuanto más profundo más viejos son los sedimentos, hipótesis que hoy sabemos no se cumple en estas muestras debido a la dinámica de los sedimentos en estas regiones (Rodrigues et al., 2014).

Hoy en día, gracias a las muestras tomadas por el *Ocean Drilling Program* (ODP) durante los últimos veinticinco años es posible realizar mediciones de ^{10}Be en sedimentos submarinos extraídos de más de mil metros de profundidad por debajo del fondo marino (Mix et al., 2003). Un estudio reciente en el margen convergente de Kurile, Rusia (Dreyer et al., 2010) ha estimado el porcentaje de material reciclado utilizando la concentración en sedimentos submarinos y la observada en rocas volcánicas de la región.

Hickey-Vargas et al., 2002 han estimado la cantidad de Be y otros elementos que los sedimentos deben aportar para explicar los valores observados en rocas del volcán Villarica (39° 25’ S 71° 56’ O) y pequeños centros de erupción cercanos, a partir de

mediciones de Nd, Th y ^{10}Be. Para explicar la diferencia en los valores de ^{10}Be/^{9}Be observados entre centros de erupción muy cercanos entre sí, sugieren la posibilidad de que los magmas sean retenidos en cámaras magmáticas por tiempos del orden de los millones de años antes de ser eruptados. Sin contar con medidas de ^{10}Be en sedimentos submarinos sino sólo con la aproximación que resulta de tener en cuenta la deposición anual de este radionucleido en el mar, estimaron el porcentaje de aporte de material sedimentario durante la subducción entre 35 y 70 %.

Uno de los objetivos de nuestra investigación consistió en determinar, por primera vez, la concentración de ^{10}Be por gramo de sedimento submarino de hasta 250 metros de profundidad en la posición de la Triple Juntura Chilena cerca de la fosa donde la placa de Nazca subduce (Rodrigues et al., 2014). Esto nos permitió determinar el inventario de ^{10}Be en sedimentos subduciendo debajo de la placa continental a través de mediciones directas.

Paralelamente hemos determinado la concentración de ^{10}Be en cenizas de cinco volcanes de la Cordillera de los Andes (Rodrigues et al., 2013). Utilizando esta información en un simple modelo de reciclado de material cortical fue posible establecer cotas para la cantidad de material subducido que participa en la conformación de los magmas y los tiempos involucrados en dicho proceso.



Figura 2: Ubicación geográfica de las muestras utilizadas en este estudio

MUESTRAS UTILIZADAS

Las muestras volcánicas estudiadas en este trabajo, corresponden a cenizas eruptadas por los volcanes Peteroa (35° 16’ S 70° 34’ O; erupción de septiembre de 2010), Quizapu (35°39’ S 70°45’ O; erupción de abril de 1932), Puyehue (40° 35’ S 72° 07’, erupción de junio de 2011), Chaiten (42°49’ S 72°38’ O, erupción de mayo del 2008), y Hudson (45°54’ S 72°58’ O, erupción de agosto de 1991), además de una muestra de Intraplaca del Campo de Namor, Huahuel Niyeu, Rio Negro (41°37’ S 70° 06’, recolectada en 2008).

Las muestras de sedimentos submarinos fueron provistas por el ODP y corresponden al Sitio 860, localizado en los 45°53’ latitud sur y 75°45’ longitud oeste. Este es el lugar de muestreo es uno de los tres más cercano al volcán Hudson explorado por este programa y se encuentra en la Triple Juntura de la Placa de Nazca, con la Antártica y Continental.

En el caso particular del sitio 860 del ODP, fueron muestreados sedimentos hasta una profundidad de 617.8 metros correspondiendo los más antiguos al plioceno temprano (Behrmann et al., 1992). El fondo marino en el lugar de muestreo se encontraba a 2146 metros bajo el nivel del mar.

TRATAMIENTO QUÍMICO DE LAS MUESTRAS

Para realizar las mediciones por medio de la técnica de AMS es necesario en primer lugar tratar químicamente las muestras para extraer y concentrar el elemento de interés. Al hacerlo, gracias a que el comportamiento químico de los isótopos no difiere, el elemento de interés puede ser extraído sin provocar fraccionamiento isotópico alguno.

Cuando la concentración del elemento de interés en la muestra es tan baja que la cantidad total presente resulta inferior al miligramo, es necesario agregar material portador (depletado en el radionucleido a medir) para poder realizar la extracción. En nuestro caso particular, trabajamos con muestras de aproximadamente 500 miligramos y con concentraciones de berilio entre 0.5 y 3 ppm medidas por ICP-OS, lo que se corresponde con menos de 2 microgramos de berilio por muestra. Por esta razón, en todos los casos agregamos 500 mg de berilio como portador, utilizando una solución previamente medida cuya relación isotópica $^{10}Be/^{9}Be$ resultó en $9.1 \pm 0.2 \times 10^{-15}$.

Al extraer el Be de los sedimentos submarinos y las cenizas volcánicas debe tenerse en cuenta en que fracción de la muestra se encuentra el ^{10}Be de interés. En el caso de los sedimentos submarinos, nos interesa el ^{10}Be atmosférico adsorbido en la superficie de los granos que conforman la muestra, mientras que en las cenizas volcánicas, el ^{10}Be atmosférico es el que tenemos que evitar para determinar la concentración de aquel proveniente de los sedimentos (^{10}Be reciclado) presente en el interior de cada partícula (ver Fig. 3). Esto se consigue mediante un pre-tratamiento de la muestra como mencionaremos a continuación.



Figura 3: Esquema de una partícula de ceniza volcánica.

Al comenzar esta investigación, la primera metodología utilizada para el pre-tratamiento químico de las cenizas volcánicas fue la sugerida por Witham et al. 2005, que básicamente consiste en pre-lavados con agua destilada. Sin embargo, los resultados de las mediciones arrojaron concentraciones un orden de magnitud por encima de los valores existentes en la bibliografía (Rodrigues et al., 2013). Como se propuso en nuestro trabajo anterior esto podría deberse a que las muestras se encontraran contaminadas con ^{10}Be atmosférico adsorbido en superficie y que los lavados sugeridos por Witham et al., 2005 no fueran suficientes para su extracción.

Por lo mencionado, se llevó adelante un procedimiento químico completamente diferente que consistió en la realización de tres prelavados en medios diferentes. El primero con agua destilada, el segundo con HNO_3 25 % suprapur y el tercero con HF 10% suprapur. Todos se llevaron a cabo por el lapso de una hora utilizando un agitador. Si bien los dos primeros no redujeron la cantidad de muestra, si lo hizo el tercero ya que HF ataca los silicatos que conforman este tipo de muestras. Tal es así, que tras agitar aproximadamente un gramo de muestra durante una hora en 50 ml de solución 10% de HF, aproximadamente el 50 % de la muestra fue llevada a solución.

Para la extracción de ^{10}Be en sedimentos submarinos el pre-tratamiento fue muy distinto, siendo que en este caso es precisamente el adherido en la superficie de los granos el de nuestro interés. Para ello se realizó una lixiviación utilizando 3 gramos de muestra en una solución de ácido acético colocada en un baño térmico de 90 grados

durante 8 hs (Feige et al., 2013). De esta manera se llevó a solución un 10 % de la muestra para su posterior tratamiento.

Luego de los pre-tratamientos se procedió a la extracción y concentración del Be según el trabajo de Merchel y Herpers, 1999. Esta técnica, basada en el uso de columnas de intercambio aniónico y catiónico, cumple además la fundamental función de suprimir en gran medida la presencia de Boro, elemento cuyo isótopo ^{10}B interfiere en la discriminación de ^{10}Be por poseer la misma masa, como discutiremos a continuación.

MÉTODO EXPERIMENTAL

Las mediciones en que se sustenta este trabajo fueron realizadas en dos aceleradores de partículas diferentes: SARA y DREAMS. El primero es un acelerador de 1 MV de terminal del Centro Nacional de Aceleradores de Sevilla, España (Chamizo et al., 2008); y el segundo, un acelerador de 6 MV de tensión de terminal del Helmholtz Zentrum Dresden - Rossendorf, Alemania (Akhmadaliev et al., 2013).

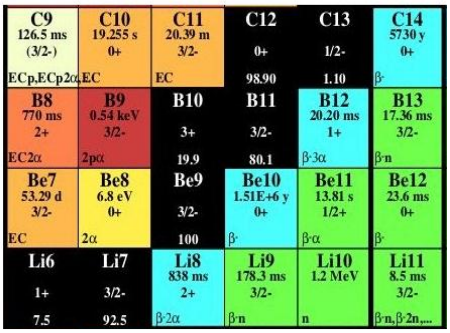


Figura 4: Región de la tabla de radionucleidos donde se encuentran el ^{10}Be y su isóbaro estable ^{10}B.

El principal desafío al intentar detectar partículas de ^{10}Be es la supresión de la interferencia producida por su isóbaro estable el ^{10}B (ver Fig. 4) ya que partículas de igual masa resultan indistinguibles para el acelerador. Si bien durante el proceso de preparación de la muestra se emplean técnicas tendientes a la supresión química del boro, no resultan suficientes para alcanzar los niveles que se pretenden en mediciones de AMS. Sin embargo, el agregado de una instancia de supresión por métodos físicos al final de la línea del acelerador es suficiente para reducir drásticamente esta interferencia. Esto se consigue interponiendo en el camino del haz de partículas, folias ultra delgadas de Nitruro de Silicio, del orden de los 500 nanómetros de espesor. Gracias a estas folias, es posible hacer uso del hecho que al interactuar con la materia el ^{10}B pierde más energía que el ^{10}Be, por contar con un protón más. Luego de esta folia, con la ayuda de un deflector electrostático se seleccionan las partículas de ^{10}Be según su energía, y de esta manera, gran parte de los ^{10}B interferentes no consiguen llegar al final de la línea. Finalmente, una cámara de ionización de ánodo segmentado es utilizada para contar y discriminar las partículas de ^{10}Be de los pocos ^{10}B que de todos modos consiguen llegar hasta este detector. Para lograrlo se mide la energía que cada partícula pierde al interactuar con el gas y dado que nuevamente el ^{10}B pierde más energía que el ^{10}Be, estos últimos pueden discriminarse y

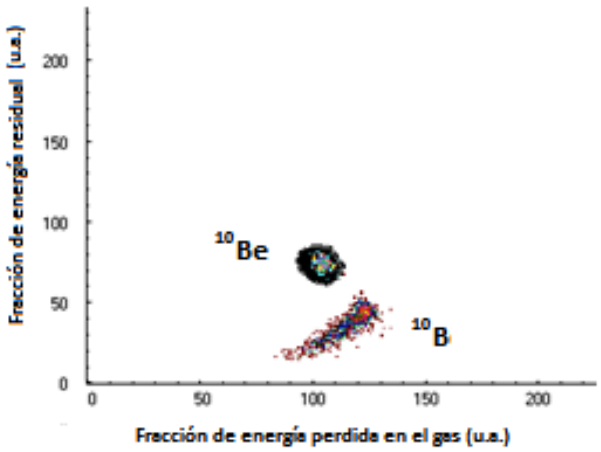


Figura 5: Espectro bidimensional utilizado para diferenciar ^{10}Be de ^{10}B en la cámara de ionización.

contarse uno a uno utilizando espectros bidimensionales donde se grafica la energía residual de las partículas luego de atravesar el gas en función de la energía perdida al hacerlo (ver Fig. 5).

RESULTADOS

La determinación de la relación isotópica $^{10}Be/^{9}Be$ en 7 muestras de sedimento submarino (Rodrigues et al., 2014) nos permitió calcular la concentración de ^{10}Be por gramo de sedimento, lo que resultó en valores entre 50 y 700 millones de átomos por gramo. En la Fig. 6 se presenta un perfil del inventario de ^{10}Be por gramo de sedimento, calculado a partir de dichas mediciones. El área en rojo es una medida del ^{10}Be total que se encuentra en la columna de sedimentos estudiada y puede utilizarse como inventario para calcular una concentración promedio en los primeros 250 metros de profundidad. Sin embargo, los sedimentos acumulados sobre la placa de Nazca en el lugar de muestreo tienen un espesor de 600 metros. Para estimar la concentración de ^{10}Be en los restantes 350 metros, nos valimos de la información provista por dataciones realizadas con foraminíferos (Behrmann et al., 1992). Teniendo en cuenta que se espera que la concentración de ^{10}Be se corresponda con la edad del sedimento según su ley de decaimiento exponencial, fue posible calcular el ^{10}Be esperado en los siguientes 350 metros de sedimento (en verde, Fig. 6).

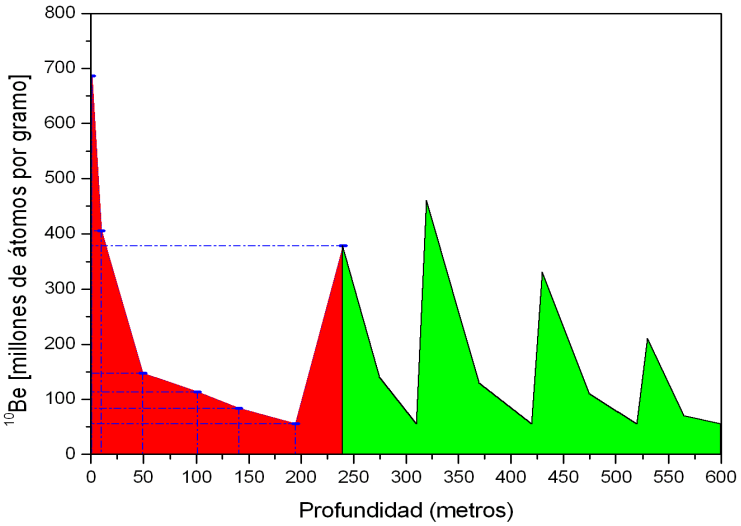


Figura 6: Concentración de ^{10}Be por gramo de muestra medida en 7 muestras de hasta 250 metros de profundidad (rojo), y estimada hasta los 600 metros usando información de foraminíferos (verde).

El particular aspecto de este perfil, que decae de a tramos pero no en su totalidad, puede explicarse como consecuencia de los esfuerzos compresionales. Capas de sedimentos de aproximadamente 100 metros de espesor, se apilan unas sobre otras, formando una estructura de capas de edades similares (Behrmann et al., 1992, Rodrigues et al., 2014).

La concentración promedio para toda la columna estudiada corresponde a 170 ± 30 millones de átomos de ^{10}Be por gramo de sedimento. Constituyendo un valor de referencia para cuantificar la cantidad de ^{10}Be presente al comienzo del proceso de reciclado.

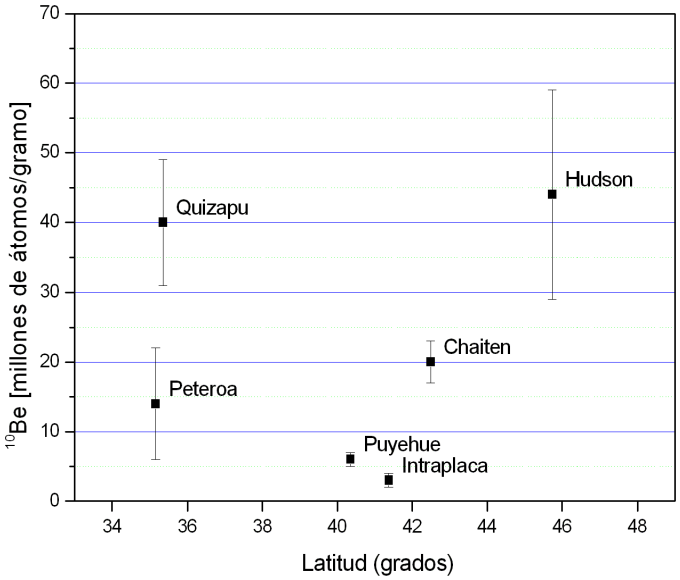


Figura 7: Concentración de ^{10}Be por gramo de muestra en las 5 cenizas volcánicas estudiadas y la muestra de intraplaca utilizada como referencia, en función de la latitud.

Para cuantificar el ^{10}Be presente a la salida del sistema, utilizamos la concentración en las cenizas volcánicas estudiadas cuyos resultados se presentan en la Fig. 7 en función de la latitud de los volcanes.
Además de las muestras de cenizas volcánicas, una muestra de basalto de intraplaca fue utilizada como valor de referencia. Como se observa en la Fig.7 es efectivamente esta muestra la que presenta menor concentración de ^{10}Be por gramo, ya que los sedimentos subducidos no hacen su aporte a la conformación de este basalto (ver ubicación, Fig. 2).

Modelado

Habiendo determinado la concentración media de ^{10}Be en los sedimentos y conociendo la concentración de ^{10}Be en cincos volcanes de la Cordillera de los Andes, estamos en condiciones de estimar que fracción de los sedimentos submarinos participa en la formación de los magmas de cada uno de ellos.

El modelo más simple para hacerlo consiste en presuponer que todo el sedimento se mezcla durante la subducción y por lo tanto puede considerarse que ingresa al sistema con una concentración dada por el valor medio ya calculado. Luego de la subducción es altamente probable que magma del manto, suficientemente viejo como para encontrarse libre de ^{10}Be, se mezcle con los sedimentos y al hacerlo la concentración por unidad de masa resulte diluida. Además, debe considerarse el decaimiento del ^{10}Be durante el tiempo de reciclado. De esta manera, el ^{10}Be que se espera observar en los volcanes se relaciona con el ^{10}Be presente en los sedimentos según la siguiente ecuación:

$$^{10}\boldsymbol{Be}(\text{volcan}) = {}^{10}\boldsymbol{Be}(\text{sedimento}) \cdot \boldsymbol{f} \cdot \exp\left(-\frac{\ln 2}{\boldsymbol{T}_{1/2}}\boldsymbol{t}\right)$$

donde $\boldsymbol{t}$ es el tiempo de tránsito desde los sedimentos hasta los volcanes, $\boldsymbol{f}$ la fracción de ^{10}Be presente en el material eruptado por los volcanes que fue aportada por los sedimentos y $\boldsymbol{T_{1/2}}$ la semivida del ^{10}Be. Si definimos una variable $\boldsymbol{R}$ como el cociente entre las concentraciones de ^{10}Be a la salida y a la entrada del sistema, es decir:

$$\boldsymbol{R} = \frac{^{10}\boldsymbol{Be}(\text{volcan})}{^{10}\boldsymbol{Be}(\text{sedimento})}$$

Podemos despejar el tiempo de subducción como función de la fracción $\boldsymbol{f}$ de ^{10}Be que participó de la formación de los magmas:

$$\boldsymbol{t} = \frac{\boldsymbol{T}_{1/2}}{\ln 2} \ln\left(\frac{\boldsymbol{f}}{\boldsymbol{R}}\right)$$

El tiempo que le toma al sedimento subducirse debajo de la placa continental puede ser calculado utilizando la velocidad de subducción de la placa de Nazca entre los 35° y 46° (7.5 ± 0.5 cm por año; Unavco, 2014) y la longitud del canal de subducción (200 ± 50 km, Martinod et al., 2010). Esto se corresponde con un tiempo de tránsito de 3.5 ± 0.7 millones de años, valor que se encuentra en acuerdo con el estimado por Gill et al., 1981 de 3.8 millones de años y utilizado por Morris et al., 1989 para realizar sus estimaciones.

DISCUSIÓN

En base al simple modelo presentado, graficamos a continuación en la Fig. 8, la relación entre el tiempo de reciclado y el aporte porcentual de los sedimentos a los magmas, para cada uno de los volcanes estudiados.

En el mismo gráfico incluimos una banda horizontal correspondiente al intervalo asignado al tiempo de subducción para esta zona teniendo en cuenta su incerteza, calculado anteriormente en 3.5 ± 0.7 millones de años. A partir de la intersección de las curvas y esta banda, determinamos intervalos para el aporte porcentual de material que hicieron los sedimentos. Se grafican como bandas verticales.

La línea negra correspondiente a la muestra de intraplaca es compatible con un aporte de sedimentos inferior al 8 %, el menor de todos los observados como se esperaba.

El hecho de que las cenizas del Quizapu y del Peteroa presenten concentraciones de ^{10}Be no compatibles entre sí (ver Fig. 7), no puede atribuirse a una diferencia en la cantidad de material reciclado ya que los volcanes se encuentran muy cerca uno del otro como para que se evidencien diferencias en el proceso de subducción. Es razonable pensar entonces que sólo la intersección de los porcentajes de aporte sedimentario de estos dos volcanes, entre 68 y 78 % aproximadamente, es una buena estimación de esta cantidad. Además, dicho intervalo es compatible con los obtenidos para Chaiten y Hudson.

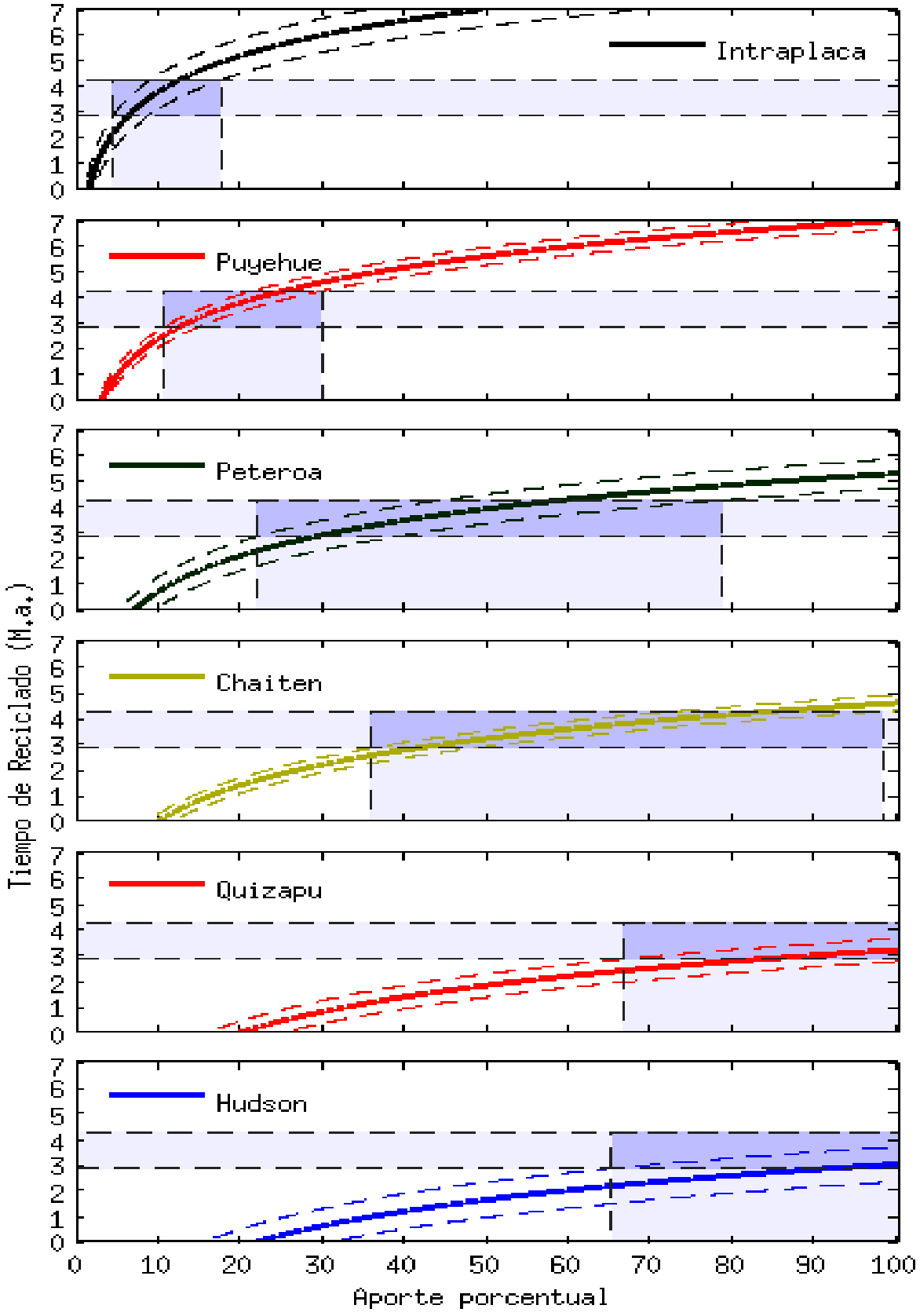


Figura 8: Determinación del porcentaje de sedimento aportado a los magmas de cada uno de los volcanes estudiados en este trabajo utilizando la intersección con el tiempo de subducción.

En cuanto a los valores obtenidos para el Puyehue, podemos recurrir al argumento utilizado por Hickey-Vargas et al., 2002 de modo tal que, probablemente la misma cantidad de material sedimentario haya sido aportado a este volcán durante la subducción y la diferencia en la concentración de ^{10}Be quedaría adjudicada al envejecimiento del magma en la cámara antes de ser eruptado.

CONCLUSIONES

A partir de la determinación por medio de la técnica de Espectrometría de Masas con Aceleradores (AMS) de la relación isotópica ^{10}Be/^{9}Be en sedimentos submarinos en muestras correspondientes a los primeros 250 metros de profundidad y haciendo uso de datación por foraminíferos de los 350 metros restantes, pudimos hallar un valor de referencia para la concentración media de ^{10}Be por gramo de sedimento para los 45° de latitud sur sobre la placa de Nazca.
Determinamos también, por medio de la técnica de AMS, la concentración de ^{10}Be por gramo de cenizas provenientes de los volcanes Peteroa, Quizapu, Puyehue, Chatien, Hudson y una muestra de basalto de Intraplaca utilizando un pretratamiento químico completamente diferente al de nuestro primer trabajo con intenciones de asegurarnos la no contaminación de la muestra con ^{10}Be atmosférico.
A partir de los valores obtenidos y sobre la base de un simple modelo de subducción, hemos estimado la cantidad de material subducido que debe participar en la conformación de los magmas para explicar las concentraciones de ^{10}Be observadas, resultando dicho valor entre 68 y 78 %.
La concentración medida en las cenizas del volcán Puyehue resultaron muy bajas como para corresponderse con estos porcentajes de aporte sedimentario, razón por la cual se propuso como explicación el posible envejecimiento del material en cámaras magmáticas antes de su erupción.

AGRADECIMIENTOS

Por tratarse de un trabajo multidisciplinario es extensa la lista de personas que merecen nuestro agradecimiento: los geólogos H. Orozco y M. Haller que nos proveyeron las muestras, a H. Ostera quien propuso este estudio como un tema de interés en la comunidad científica, a M. Ruiz, A. Londonio, R. Servant y E. Gautier los químicos que nos dieron su apoyo técnico, a R. Jimenez quien realizó las mediciones por la técnica de ICP-OS, a N. Samsolo, M. Togneri y J. Baripatti por su colaboración en la preparación de las muestras, a todo el personal técnico de los aceleradores, ya que sin su participación las medidas no hubiesen sido posibles y a todos los físicos que dedicaron su tiempo a discutir el análisis de estos resultados con nosotros enriqueciendo este trabajo.

REFERENCIAS

Akhmadaliev et al. Nucl. Instr. and Meth. in Physics Research B, 294, 5-10 (2013).
Behrmann et al. Proceedings of the Ocean Drilling Program, Initial Reports, 141, (1992).
Bourlès et al. Geochim. Cosmochim. Acta, 53, 443-452 (1989).
Brown et al., Nature Vol. 299 718- 720 (1982).

Chamizo et al. Nucl. Instr. and Meth. B, 266, Issue 10, 2217-2220 (2008).
Dreyer et al., Journal of Petrology, 1761-1782 (2010).
Feige et al., EDP Sciences, Heavy Ion Accelerator Symposium (2013).
Gill et al., Orogenic Andesites and Plate Tectonics, Springer-Verlag (1981).
Hickey-Vargas et al., Geological Society of America (2002).
Martinod et al., Earth and Planetary Science. Vol 299 (2010).
Merchel y Herpers. Radiochim. Acta, 84, 215-219 (1999).
McHargue et al. Reviews of Geophysics, 29, 141-158 (1991).
Morris et al. Geochim. Cosmochim. Acta, 53, 3197-3206 (1989).
Morris et al., Nature Vol 344 31-36 (1990)
Morris et al., Cosmogenic Be-10 and the Solid Earth: Studies in Geomagnetism,
Subduction Zone Processes and Active Tectonics (2002).
López-Escobar et al. Revista Geológica de Chile, 20, No. 1, 33-55 (1993).
Mix et al. Proceedings of the Ocean Drilling Program, Initial Reports, 202, (2003).
Rodrigues et al., Proceeding E-ICES9 (2013)
Rodrigues et al., Anales de la AFA, Vol 25 N.1, 51-55 (2014)
Sigmarsson et al., Nature Vol 346 163-165 (1990)
Tera et al. Geochim. Cosmochim. Acta, 50, 535-550 (1986).
Unavco Plate Motion Calculator web page – promedio de diferentes modelos.
Witham et al. Journal of Volcanology and Geothermal Research Vol. 141, Issues 3–4, 299–326 (2005).

CAMBIOS GEOMORFOLÓGICOS Y SEDIMENTARIOS EN EL PN NAHUEL HUAPI Y CUENCA DEL RÍO LIMAY TRAS LA ERUPCIÓN DEL VOLCÁN PUYEHUE – CORDÓN CAULLE

Rovere Elizabeth. I. [a,d], *Paloma Martínez Fernández* [b,d], *Silvia M. Uber* [c,d]

[a] *Servicio Geológico Minero Argentino, SEGEMAR, Buenos Aires, ARGENTINA*
[b] *Universidad Nacional del Comahue A.U.S.M.A., Neuquén, ARGENTINA*
[c] *Consultora Geoambiental y GeoturismoBariloche, Río Negro*
[d] *Asociación Civil GEVAS RED ARGENTINA*

elizabeth.rovere@segemar.gov.ar

RESUMEN

La erupción volcánica iniciada el 4 de junio de 2011 en el Complejo Volcánico Puyehue-Cordón Caulle (P-CC 40.59ºS–72.117ºO, 2236 m.s.n.m.) tuvo fuertes impactos sobre la calidad de vida de la población afectada y sus bienes en Argentina. Los cambios ambientales, principalmente vinculados al ecosistema que conforman las cuencas hídricas, continúan afectando las economías regionales. En primer lugar se estudió la dinámica y el comportamiento sedimentológico de los piroclastos P-CC considerando factores geomorfológicos y climatológicos a través de la evolución del transporte y la depositación en cuerpos lacustres, embalses y planicies aluviales de la región del Parque Nacional Nahuel Huapi y la cuenca del río Limay. En segundo lugar se estudiaron la evolución y cambios geomorfológicos del ambiente costero- playas-lecho y sus consecuencias: a) Debido a la gran significancia biológica y morfológica del hábitat y ecotono, y al importante atractivo turístico del parque nacional Nahuel Huapí b) A raíz de las intensas crecidas y flujos densos que afectaron la infraestructura crítica en la cuenca Sur del río Limay. El equilibrio en la dinámica geomorfológica (playas, costas y lechos) lacustre y fluvial, así como las pendientes de talud de gran parte de los afluentes que conforman la región de estudio, modificaron su estabilidad a partir de la erupción de 2011. En la actualidad (a más de 3 años de la erupción) gran parte de este material fue transportado hacia las regiones más deprimidas y gradualmente fueron depositados en los fondos de los lagos, a lo largo de los lechos fluviales.

Palabras Clave: Volcán Puyehue-Cordón Caulle – Nahuel Huapi – Cuenca Río Limay

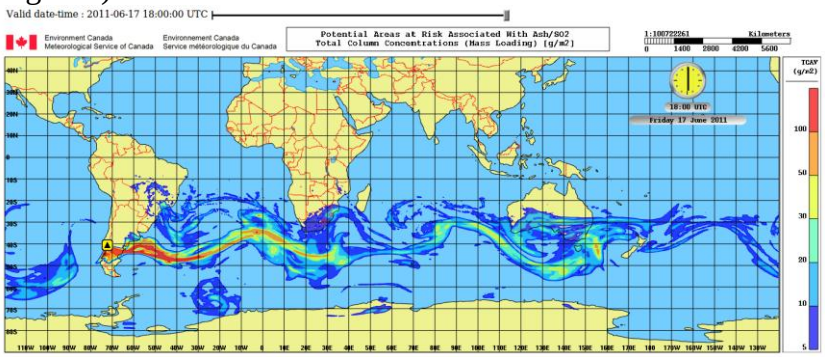
Introducción

La cuenca del Río Limay comprende el sector sur de la provincia de Neuquén y el sector norte de la provincia de Río Negro. Drena una superficie de unos 56.000 km2. El Río Limay tiene dirección NO-SE; tiene su naciente en el borde oriental del lago Nahuel Huapi y fluye hasta la unión con el Rio Neuquén para formar el Río Negro, desembocando en el Océano Atlántico.
El Río Limay es alimentado por 42 lagos de origen glaciario, ubicados en la "Cordillera Patagónica Septentrional", al oeste de la cuenca; de ellos, 9 constituyen el 91,3% de la superficie total de los lagos de la cuenca. A saber: Nahuel Huapi, Huechulafquen, Traful, Aluminé, Lolog, Quillén, Tromen, Meliquina y Filo Hua Hum.

Durante el proceso eruptivo del Cordón Caulle, varios de estos lagos fueron afectados por la depositación de tefras, con variada granulometría según la distancia al centro eruptivo, pero posteriormente derivadas por las corrientes hídricas y eólicas.
A lo largo del Río Limay se han construido 5 represas hidroeléctricas, siendo la primera aguas abajo, Alicurá. La construcción de los embalses hidroeléctricos, Alicurá, Piedra del Águila, Pichi Picún Leufú, Chocón y Arroyito, mermaron considerablemente la longitud original del río; de 450 Km. a 380 Km. Estas represas generan el 94% de la energía de Neuquén y aportan el 25% de la producción del país. Sobre este río se ha construido la única planta de agua pesada de América del Sur.

Dinámica y comportamiento sedimentológico de los piroclastos del Complejo Volcánico Puyehue Cordón Caulle (CVP-CC)

La dinámica y el comportamiento sedimentológico de los piroclastos CVP-CC fueron considerados como indicadores de cambio geomorfológico y climatológico a través del transporte y la depositación en cuerpos lacustres, embalses y planicies aluviales de la región del Parque Nacional Nahuel Huapi y la cuenca del río Limay. Partículas, gases y aerosoles con elevados contenidos de SO_2 y CO_2 fueron transportados en suspensión por los vientos en dirección E (*Westerlies*) en plumas de nubes en el hemisferio Sur, completando un giro a niveles troposféricos y estratosféricos (Figs. I y II) alrededor del planeta. Esto es significativo al momento de evaluar los cambios físico-químicos que, como eventos meteorológicos intervienen en las variaciones climáticas. La composición media de muestras de rocas piroclásticas de Bariloche varía desde Andesitas a Riodacitas (Fig. VII).



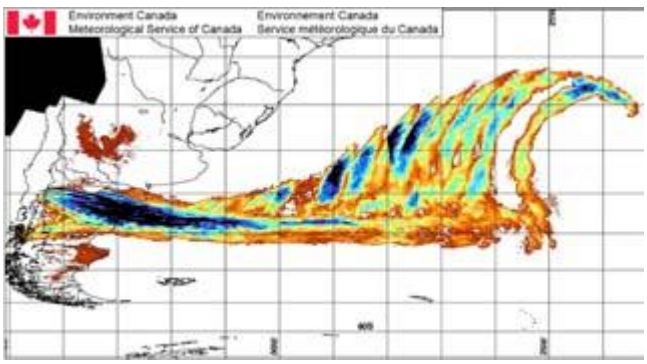
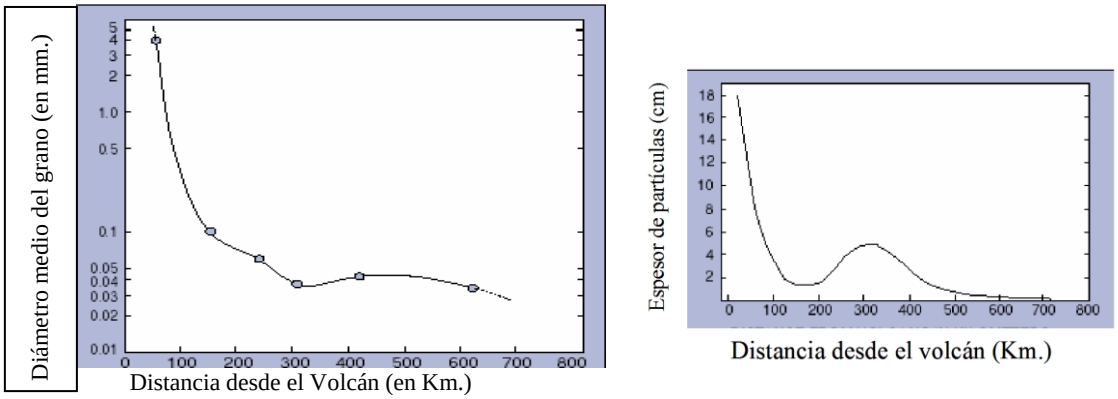


Fig. I- Areas potenciales en Riesgo asociadas con Cenizas/SO2, CVP-CC. Fig. II -Concentración Total de la columna (Carga de Masa) (g/m3) Fuente: Servicio Meteorológico de Canada.

La erupción del CVP-CC duró más de 10 meses (4 de Junio de 2011 al 21 de Abril 2012, fuente: www.volcano.si.edu/). Durante los primeros 10 días de la erupción, el IEV (Indice de Explosividad Volcánica) alcanzó el máximo nivel de 5 -erupción pliniana (Newhall y Self, 1982). Las partículas (cenizas) dispersas y depositadas durante los

primeros 40 días promediaban tamaños 0,1 y 5 mm. en Bariloche, 0,05 mm en Ing. Jacobacci, y se mantenían entre 200 y 500 micrones tanto en Puerto Madryn y como en la ciudad de Buenos Aires. En Villa La Angostura, localidad argentina más próxima al CVP-CC el tamaño de los fragmentos pumíceos (caídos en proyección balística) alcanzaron diámetros de 80 cm.



Figs.III y IV. Gráficos Diámetro y espesor de cenizas. Modificado de Prata (1989 a, b y 2011)

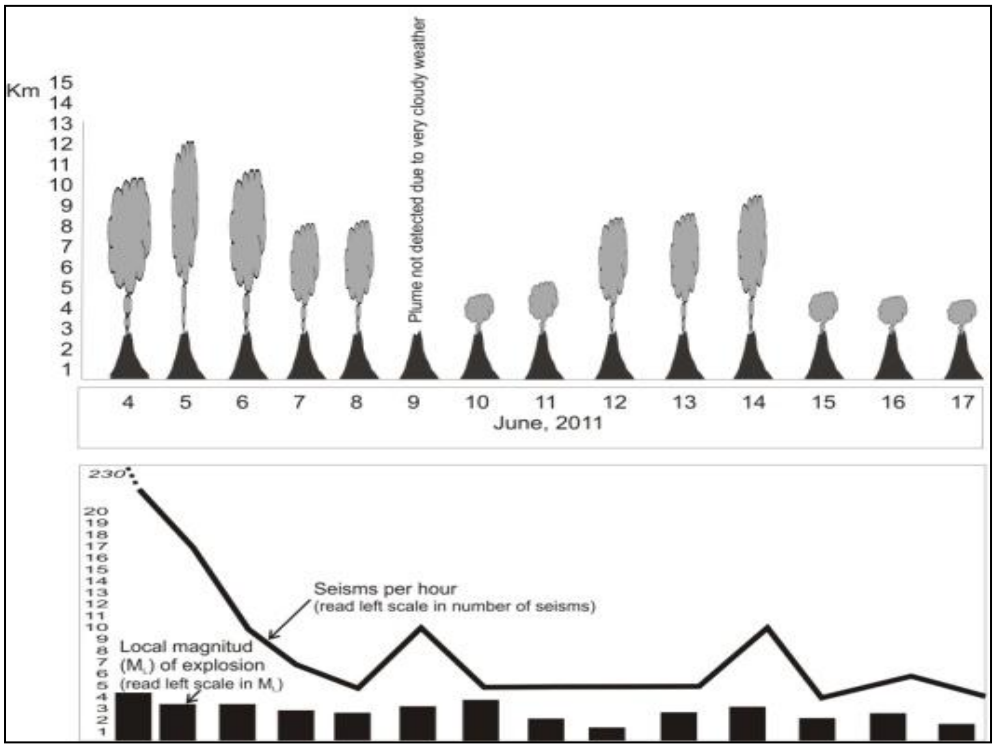


Fig. V. Erupción volcánica del Puyehue Cordón Caulle. Altura de la columna eruptiva y patrones sísmicos durante los primeros 12 días de la actividad. Fuente: OVDAS, modif. Violante., 2012

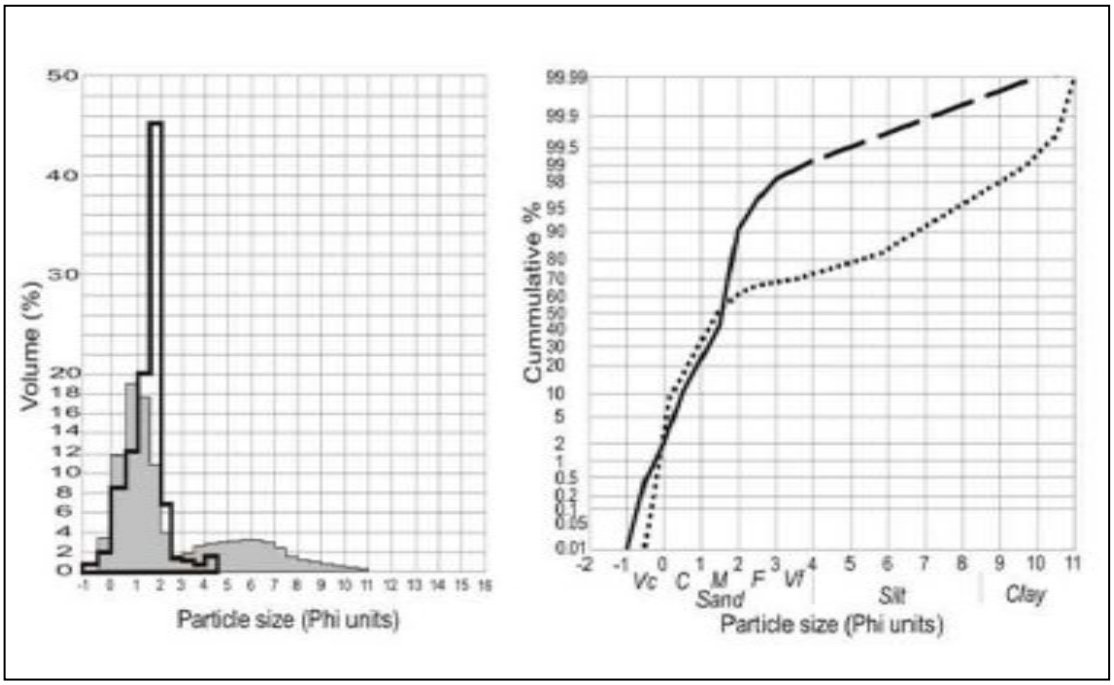


Fig. VI. Histograma y Curva acumulativa de cenizas del volcán Puyehue – Cordón Caulle depositadas durante las primeras semanas de Junio de 2011.

% composicionales de óxidos y Radios Si/AL-Fe-Ca de cenizas y lapilli de CVP-CC											
(% oxido)	**B1A**	**B1B**	**B1C**	**B2A**	**B2B**	**B3A**	**B3B**	**B3C**	**B2D**	**B3D**	**B7**
Na_2O	4.61	4.00	4.69	5.89	5.71	5.81	3.35	1.42	4.24	4.09	5.87
MgO	2.19	3.40	2.75	2.17	0.87	1.81	3.85	3.86	3.10	2.94	1.27
Al_2O_3	14.69	15.40	16.75	14.44	14.13	14.61	15.73	12.33	15.19	14.07	14.01
SiO_2	57.62	56.99	56.95	62.93	69.48	68.26	56.89	48.60	52.14	64.67	69.24
SO_3							0.54	0.25		0.03	
Cl_2O							0.35	0.75	1.55	0.11	
K_2O	1.82	1.44	1.19	2.27	2.96	2.51	1.11	1.16	0.49	1.18	2.99
CaO	5.34	7.02	6.65	2.90	0.69	0.00	7.01	7.08	9.03	3.87	1.62
TiO_2	2.41	1.35	1.29			1.07	1.23	2.37	2.16	1.25	0.78
FeO	11.30	10.40	9.73	7.82	6.17	5.93	9.77	22.18	12.09	7.80	4.30
Radio											
Si/Al	3.45	3.26	2.99	3.84	4.33	4.12	3.19	3.47	3.03	4.05	4.36
Si/Fe	3.06	3.29	3.51	4.82	6.76	6.92	3.50	1.31	2.59	4.98	9.67
Si/Ca	3.81	5.30	3.82	14.18	66.16		5.30	4.48	3.77	10.93	27.85

Fig. VII Análisis EDS de muestras de cenizas de Bariloche de los primeros 10 días de la erupción.

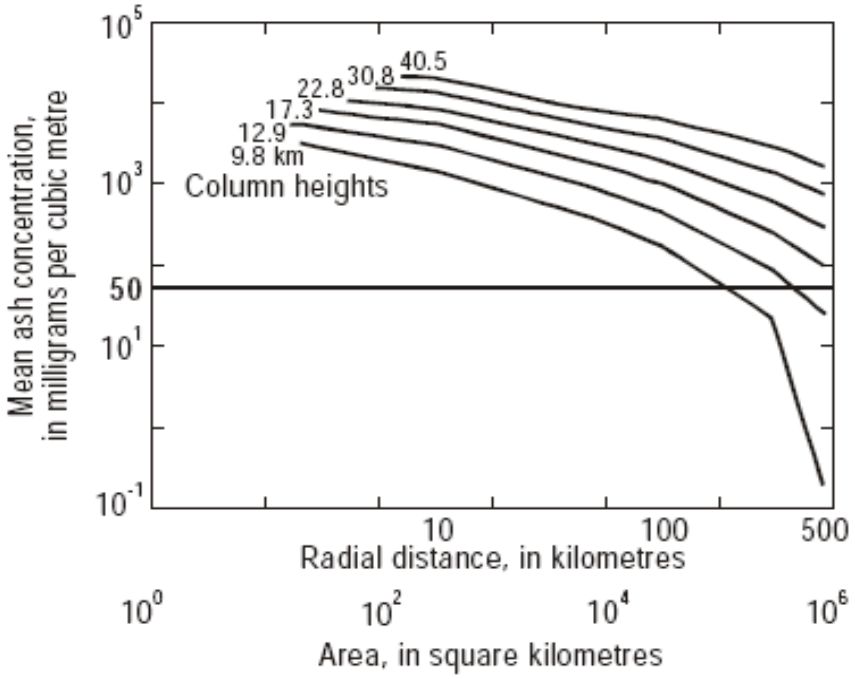


Fig. VIII. Y: Concentración media de cenizas mg/m^3 (escala log) X: Distancia Radial (Km). Area en Km^2

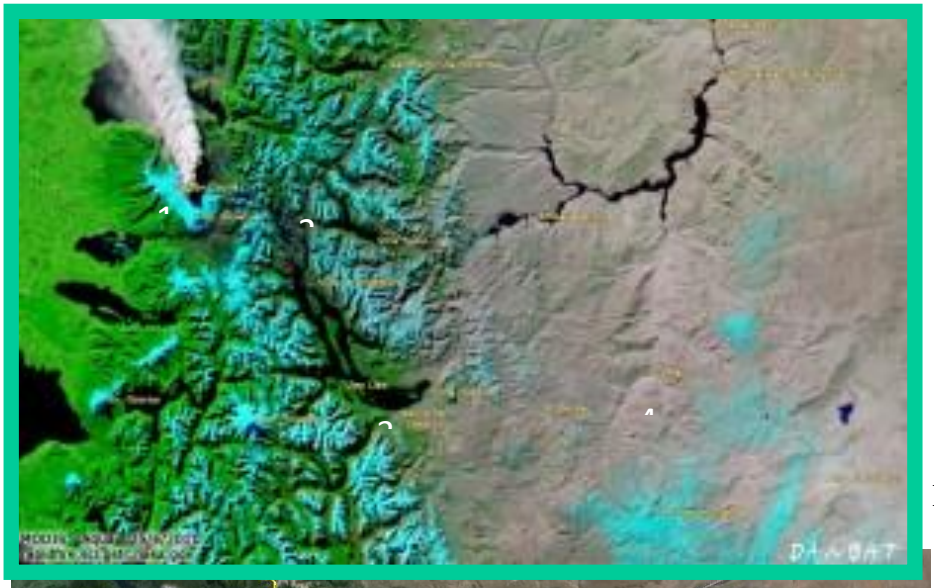
La altura de la columna eruptiva del día 5 de Junio de 2011 superó los 12 Km., (Figs. III a VIII). la distancia radial de los depósitos de ceniza alcanzó los 500 Km. con una concentración variable entre 40 y 0,3 mg/m^3. El área de cobertura de cenizas a 500 Km., superó los 10^6 Km^2. La evaluación y el muestreo de campo junto con el control de imágenes satelitales, permitieron confirmar estos datos (Figs. IX y X A, B y C)



Fig. IX. Imagen Landsat regional, obsérvese la coloración grisácea por la gran depositación de cenizas volcánicas en la zona de la estepa patagónica.



A



B



C

Fig. X. A. Imagen NASA enero 2000 B. Agosto 2011. Imagen Landsat C. Imagen Landsat. Abril 2013

La figura X.B., muestra un cambio marcado en la coloración grisácea de esta región, cuyo aporte principal es del depósito de cenizas volcánicas, de caída y removilización

por vientos principalmente. La Figura X.C. del año 2013, muestra un cambio paulatino en la coloración y rediseño de los rasgos geomorfológicos. Principalmente la acción erosiva hídrica originada por intensas lluvias (de corto período, 60mm/ 3 horas) que produjeron grandes flujos de lodo (inicialmente denominados lahares; flujos y torrentes densos y saturados de cenizas volcánicas: 8 de marzo de 2012), inundaciones, avalanchas y deslizamientos de tierra en la estepa patagónica.

La Autoridad Interjurisdiccional de Cuencas (AIC), en el año 2011 tomó medidas para que las cenizas no afecten el normal funcionamiento de Alicura, ya que es la más impactada al recibir los caudales de las aguas de los lagos Nahuel Huapi y Traful. Para evitar que el material volcánico afecte las turbinas de la hidroeléctrica, hicieron descender un par de metros el embalse, colocaron barreras ambientales para que no entren en la dársena de succión y de allí a los conductos que llevan a las turbinas; también colocaron una malla de profundidad para frenar y desviar otros materiales hacia el vertedero y mangas para conducir la masa flotante. Al cabo de 3 meses habían pasado por el vertedero más de 5.000.000. de metros cúbicos de material volcánico,(fuente: AIC).

Evolución y cambios geomorfológicos del ambiente costero- playas-lecho.




Figs. XI y XII. Fotografías aéreas de playas de V. La Angostura, Junio 2014. Fotos: Dron Diario Patagónico. (2014)





Figs. XIII, XIV y XV. Izq. Lago Lacar octubre 2013 Centro: Lago Espejo Octubre 2013. Der-: Lago Villarino Octubre 2013.

El estudio de la evolución y los cambios geomorfológicos del ambiente costero, las playas y el lecho del río Limay, llevo tambien a investigar sobre las consecuencias que pudieran afectar al medio ambiente debido a la gran significancia biológica y morfológica del hábitat y ecotono, y al importante atractivo turístico del parque nacional Nahuel Huapí y Lanín.

Al momento de analizar los impactos que tuvieron lugar tras la erupción de 2011 y en particular sobre los posibles cambios geomorfológicos y sedimentarios en lagos y ríos, es importante partir del concepto de cuenca hídrica. La cuenca comprende un sistema de subcuencas que confluyen al lago Nahuel Huapi, el cual drena hacia el Atlántico a través de los ríos Limay y Negro. Dentro del enfoque sistémico "la cuenca es un sistema abierto, dinámico, con una organización geográfica propia, estando en dependencia e interrelación permanente con los llamados sistemas antecedentes. Como sistema la cuenca se sustenta en un equilibrio dinámico, y especificidad procesal que produce determinados ciclos, movimientos y transformaciones que son necesarios conocer ante toda intervención (Shulz, 1994). Es así que procesos naturales de erosión, sedimentación, gradación, y otros provocados por la acción antrópica, generan cambios en el tiempo que pueden conducir a la pérdida del paisaje que es el gran atractivo turístico en el área analizada. Esos paisajes además, son la expresión visual de un ecosistema subyacente, de un conjunto de elementos biológicos y físicos que interactúan entre sí y con el ambiente que los sustenta. El aporte de 0,2 Km3 cúbicos de ceniza evidentemente introdujo transformaciones en los sistemas ambientales afectados; muchos palpables por sus consecuencias sociales y económicas, y otros más sutiles cuyos efectos a largo plazo aún se desconocen.

La zona directamente afectada por la erupción es el área de influencia de la localidad de Villa la Angostura, municipio turístico de 11.063 habitantes (censo 2010) ubicado a 42 km del límite con Chile y dentro del Parque Nacional Nahuel Huapi, uno de los más concurridos de Argentina, con más de 140.000 vistas anuales. Este parque protege el bosque andino-patagónico y sectores de la estepa patagónica. Sus bellezas naturales son un fuerte atractivo que llevó al desarrollo de grandes emprendimientos inmobiliarios así como infraestructura para una variedad de actividades en contacto con la naturaleza.

Toda la zona costera lacustre desde la Villa hasta el nacimiento del río Limay, así como el área perteneciente al ejido de San Carlos de Bariloche, se encuentra dentro de la zona de Reserva Nacional, categoría de manejo que confiere aptitudes para la conservación de los sistemas ecológicos, ya sea como zona protectora del Parque Nacional contiguo o de conservación independiente. Las obras, servicios y desarrollos de los asentamientos humanos, se aprueban en tanto sean compatibles con la conservación. (Fig. XI a XV.) En el segundo mapa puede apreciarse la cantidad de áreas de acampe que se extienden a lo largo de la costa, en una zona muy apreciada para las actividades náuticas, como navegación a motor y vela, buceo, wind surf y pesca deportiva, además de balnearia en la temporada estival. El lago Nahuel Huapi tiene una superficie de 557 km2. Otros cuerpos de agua importantes que desaguan en el son los lagos Espejo, Correntoso y Gutiérrez.

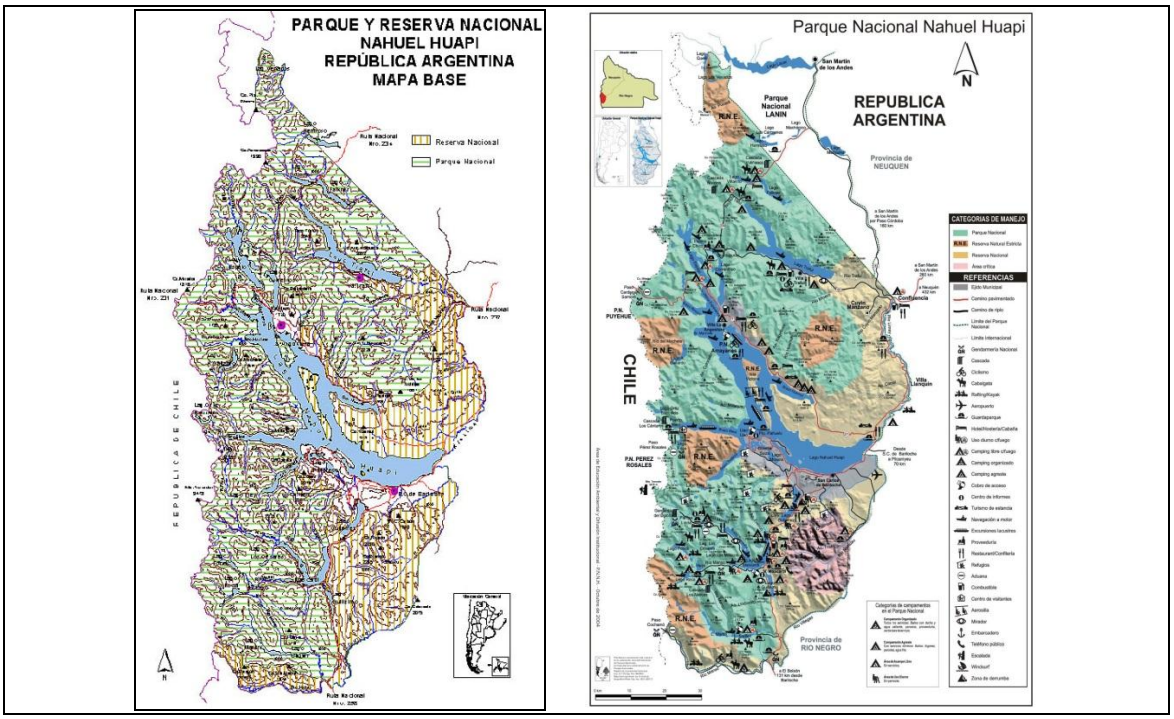


Fig. XVI y XVII. Mapas Parque y Reserva Nacional Nahuel Huapi.
http://www.patrimonionatural.com/HTML/provincias/neuquen/nahuelhuapi/nahuelhuapi.asp

En las temporadas 2013 y 2014, la actividad turística volvió a la normalidad, y si bien se aprecian cambios paisajísticos, como la presencia de sedimento muy fino y claro en las playas y la coloración turquesa de las aguas por la cantidad de este material en los fondos, muchos lo aprecian incluso como algo atractivo.

"…la caída de ceniza produce importantes consecuencias físicas en los sistemas por alteración de las condiciones de hábitat al acumularse el material, ya sea como sedimentos que se depositan -en tierra y agua-, o como partículas en suspensión -en agua y aire-. En ambos casos la biota se ve afectada por la alteración directa en la salud, disminución de la disponibilidad de luz, o por el efecto sobre sitios de alimentación, refugio y reproducción. Aunque parte del material piroclástico ha caído directamente sobre los cuerpos de agua de la región, los que se encuentran en el área más cercana al sitio de emisión son los más afectados (ej. lagos Espejo y Correntoso). El Lago Nahuel Huapi, el mayor de la cuenca, ha sido afectado diferencialmente en su superficie ya que los brazos más cercanos al volcán frente a Villa La Angostura han recibido mucha cantidad de material, mientras que los más alejados y ubicados hacia el sur han recibido una menor deposición directa de material. No obstante, los cuerpos de agua de la alta cuenca del río Limay, y los tramos inferiores de la misma, representarán el sitio de depósito final de una parte sustancial del material que inicialmente se encuentra depositado en tierra (en toda la cuenca de drenaje y en las costas). Si bien una parte mayoritaria se incorporará con el tiempo a la estructura del suelo, se debe esperar el ingreso pausado de manera diferida de cenizas a los cuerpos de agua, a través de fenómenos naturales fundamentalmente asociados a la erosión y escorrentía que removilizan el material." (Pérez, 2011).

En otro informe del 2011, Pablo Vigliano, investigador del CRUB, ya hablaba de los efectos a mediano y largo plazo, que podrían ser tanto perjudiciales como beneficiosos para ciertos grupos de organismos. "Cabe considerar que los efectos sobre la biota no se producen solo sobre organismos individuales, sino que dependiendo del número,

estadios de vida y procesos poblacionales y comunitarios afectados se pueden producir efectos en cascada que afecten progresivamente a poblaciones, comunidades e incluso ecosistemas" (Vigliano, 2011).



Figs. XVIII, XIX y XX. Izq.: Antigua Hostería "Ruca Malén". Obsérvese el suelo y el techo cubierto por una gruesa capa (2 -4 cm.) de cenizas y pómez (octubre 2011). Centro: Montículos de acopio de cenizas, Villa La Angostura (Octubre 2011). Der.: rebrote de hierbas y césped bajo capa fina (0,6 mm) de ceniza.

Los efectos de carácter físico se producen por alteración de las condiciones del hábitat, alterando sitios de alimentación, refugio y reproducción. El grado de alteración depende de la distancia al volcán, el tamaño y características de partículas predominantes y la hidrología particular del ambiente afectado. Los ríos y arroyos de mucho caudal y aguas rápidas pueden transportar cargas elevadas de sedimentos en suspensión con un efecto más reducido que en aguas lentas.
Un problema clave de la sedimentación de partículas es el entierro de los fondos de desove. Sin embargo hasta el momento no se han registrado alteraciones apreciables en la población de peces, especialmente de salmónidos, sobre los cuales se ha realizado un seguimiento. "Si bien los investigadores creen que los arroyos con mayores grados de turbidez por la suspensión y arrastre de cenizas volcánicas presentarían menor disponibilidad de alimento para los peces, sin embargo, según las hipótesis, en las sucesivas temporadas los peces podrían repoblar estos arroyos desde las poblaciones del lago. " (ANB, 2012).
La fauna ictícola nativa del parque está compuesta por puyén, trucha criolla, peladillas, pequeños bagrecitos de arroyo y el pejerrey patagónico, en gran medida desplazados por la introducción de salmónidos, de excelente adaptación a las condiciones del ambiente local: truchas fontinalis, arco iris y marrón.
"A nivel de lagos y lagunas la acumulación de sedimentos sobre sectores profundos producirá cambios pero los mismos no serán necesariamente notados, dependiendo esto del tamaño del cuerpo de agua y la profundidad. En cuerpos de agua someros la vegetación sumergida enterrada por los sedimentos puede llevar a la generación de barros anóxicos." (Vigliano, op.cit.). Según los análisis realizados por el INVAP y el CAB, las cenizas no habrían producido alteraciones químicas notorias en la cuenca del Nahuel Huapi, si bien no se pueden descartar cambios en cercanías del volcán.

Evolución y cambios geomorfológicos del ambiente costero- playas-lecho y sus consecuencias: Las intensas crecidas y flujos densos que afectaron la infraestructura crítica en la cuenca Sur del río Limay.

Varios tramos de la Ruta 23 entre San Carlos de Bariloche y Valcheta se hallan en construcción, pavimentación y/o reparación (nuevas trazas); esto se debe en la mayoría de los casos a los destrozos que provocaron los deslaves, crecidas y torrentes de lodo (lahares secundarios) saturados de piroclastos (cenizas) caídos y removilizados durante

la erupción del CVP-CC desde junio del 2011. Algunas evaluaciones de daños en la infraestructura: -Valcheta: arrastre y desplazamiento en bloque del puente del arroyo Nahuel Niyeu. Ing. Jacobacci: Impactos en la salud de cenizas volcánicas y removilización por fuertes vientos; Pilcaniyeu, Comallo, Clemente Onelli, Anecón, Ramos Mexía: Falta de agua: embalses y acueductos obturados por sedimentos y endicamientos parciales a lo largo de arroyos. Procesos laháricos (marzo 2012) o torrentes de lodo y sumisión de la corriente de agua superficial al nivel del lecho cubierto por sus depósitos. Durante la caída, en contacto con agua, las cenizas se compactan con la humedad y posteriormente los vientos constantes y la intensa insolación, deshidrata las capas superficiales con alto porcentaje de cenizas volcánicas entre los sedimentos formando grietas de desecación. En las pendientes y llanuras de ablación el proceso eólico-hidrico origina depósitos en forma de cono que migran a sotavento de rocas o arbustos o bien en forma de dunas, como médanos de ceniza. En la región de Comallo, los deslaves provocados por las lluvias localizadas provocaron flujos encauzados en los valles con corta trayectoria debido a la rápida infiltración del agua entre los sedimentos de fondo. Esto originó barreras (endicamientos naturales) de sedimentos, algunas acumulan agua provenientes de las pequeñas vertientes, formando embalses (piletas o charcos) naturales.

El transporte de estos sedimentos esta controlado principalmente por: 1) los fuertes vientos que removilizan las partículas finas, 2) por acción gravitatoria superando el ángulo de reposo en las laderas con acumulación de sedimentos (principalmente cenizas volcánicas) y 3) por el agua de lluvias torrenciales (mas de 300 mm. en 6 horas), como las ocurridas el 8 de marzo de 2012 principalmente en la regiòn de Pilcaniyeu, Comallo, Anecón, Clemente Onelli y alrededores, que produjeron la removilización y el transporte (y la erosión) de miles de Km^3 de terreno (sedimentos, rocas y suelos) superficial, provocando la muerte de dos personas y destrozos materiales.

Conclusiones

De las investigaciones realizadas se concluye que la caída y removilización de cenizas y pómez del P-CC en el P.N. Nahuel Huapi y la cuenca –Línea Sur- del río Limay, tiene incidencia en la generación de procesos de remoción en masa y depósitos sedimentarios de fondo acumulados en los embalses del río Limay (represas hidroeléctricas Alicurá y Piedra del Águila).

Los registros estratigráficos y paleo-geomorfológicos históricos (últimos 100 años) y geológicos indican que los procesos erosivos y las erupciones volcánicas han ocurrido reiteradamente durante la historia evolutiva de los últimos miles de años; los cambios climáticos y la actividad volcánica indican que habrá mayor intensidad en los procesos erosivos, cambios geomorfológicos y colmatación de sedimentos en las cuencas hídricas, tendiendo a una nivelación de las mismas. Por ello se considera necesario reconstruir el diseño de las cuencas de arroyos y ríos en su totalidad, desde las nacientes hasta las desembocaduras, a través de obras de dragado, canalización y desvíos previamente planificados en sinergia con profesionales geólogos y técnicos.

Referencias

ANB, 2012. *Analizan efectos de las cenizas sobre poblaciones de truchas,* Proyecto de gestión comunicacional para el Proevo, UNR, en http://www.anbariloche.com.ar/noticia/28340-analizan-efectos-de-las-cenizas-sobre-poblaciones-de-truchas (5/3/2014)

Newhall, C.G. y S. Self, 1982. *The Volcanic Explosivity Index (VEI): an estimate of explosive magnitude for historical volcanism.* Journal of Geophysical Research (Oceans and Atmospheres), 87: 1231-1238.

Pérez, A &Buria, L, 2011. *Análisis de criterios y sitios posibles para la ubicación de depósitos de cenizas extraídas de la limpieza de ejidos municipales. El caso particular de Villa la Angostura*, APN, Bariloche, en http://www.sib.gov.ar/archivos/Analisis_disposicion_cenizas_DRP.pdf (21/8/2914)

Prata, A. J. 1989a. *Observations of volcanic ash clouds in the 10–12-micron window using AVHRR/2 data*. International Journal of Remote Sensing 10: 751 – 761.

Prata, A. J. 1989b. *Radiative transfer calculations for volcanic ash clouds.* Geophysical Research Letters 16: 1293 – 1296.

Prata, A. J. 2011. *Volcanic Information Derived from Satellite Data.* Climate and Atmosphere Department, Norwegian Institute for Air Research (NILU), 161 pp.

Shulz,S, 1998.*Economicanalysis of the 1991 Catie/Senara Río Puriresflood control project*, DraftReport, Project RENARM/Watershed, Catie, Turrialba, Costa Rica

Vigliano, P, 2011. *Posibles efectos de la ceniza volcánica sobre la biota acuática, en Varios, Posibles Efectos de la Ceniza Volcanica del Sistema Puyehue Cordon Caulle sobre Diferentes Componentes del Ecosistema Norpatagónico*, Crub, Bariloche. en http://unrn.edu.ar/sitio/index.php/prensa/1900-tecnicos-y-cientificos-analizaron-el-impacto-de-las-cenizas-en-el-ambiente (1/9//2014).

Wen, S., Rose, W. I., 1994. Retrieval of sizes and total masses of particles in volcanic clouds using AVHRR bands 4 and 5, Journal of Geophysical Research 99.

ESTUDIO INTEGRAL BIOLÓGICO Y QUÍMICO DE *UNDARIA PINNATIFIDA* EN LA REGIÓN CENTRAL DEL GOLFO SAN JORGE

Salomone V.N.[a,b], *Riera M.* [b,c], *Custo G.*[d], *Cerchietti L.*[d], *Muniain C.C.*[a,b]

[a] *Instituto de Investigación e Ingenieria Ambiental, UNSAM, Buenos Aires, ARGENTINA*
[b] *Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), ARGENTINA*
[c] *Dpto. Biología General, UNPSJB, Comodoro Rivadavia, ARGENTINA*
[d] *Laboratorio de Fluorescencia, Centro Atómico Constituyentes, CNEA, ARGENTINA*

e-mail: vsalomone@unsam.edu.ar

RESUMEN

Undaria pinnatifida es una alga parda de origen asiático, invasora de la región patagónica, así como también de diferentes costas alrededor del mundo. En el puerto de Comodoro Rivadavia (Chubut) fue registrada por primera vez en el año 2005 y a partir de ese momento su población se expandió rápidamente abarcando gran parte del litoral. Las invasiones biológicas representan una gran amenaza para las comunidades naturales. Cuando una especie invasora logra integrarse en cualquier ecosistema se hace prácticamente imposible lograr su erradicación. En los casos de especies potencialmente explotables, como este, el desarrollo del mercado podría constituir parte de la estrategia de control. Se realizó un estudio integral de Undaria pinnatifida en la región del Golfo San Jorge (Punta Marqués, Rada Tilly), en la Provincia de Chubut, Argentina, incluyendo aspectos biológicos y químicos de interés para su posible aprovechamiento. En primer lugar, se estudió su ciclo de vida a lo largo de dos años, lo que permitió la diferenciación de cinco fases según sus características fenotípicas. Se analizó además, la composición química y nutricional para cada fase, poniendo énfasis en la presencia de metales pesados dada la conocida capacidad de estos organismos de acumular compuestos tóxicos. Los elementos encontrados y cuantificados fueron: Na, Mg, P, S, K, Ca, Cr, Mn, Fe, Cu, Zn, Sr, As y Pb. La determinación se realizó por Fluorescencia por rayos X con geometría de reflexión total (TXRF). Esta técnica presenta numerosas ventajas, es rápida, requiere poca cantidad de muestra y permite la identificación simultánea de elementos abarcando desde el Na hasta el U con límites de detección en el rango de ppm y ppb, además los costos de funcionamiento son bajos.

INTRODUCCIÓN

Undaria pinnatifida (Harvey) Suringar, es una macroalga parda perteneciente a la Clase Phaeophyta, Orden Laminariales, de origen asiático, introducida accidentalmente en Francia junto a ostras de cultivo en 1971, invadiendo actualmente grandes regiones del mundo (Boudouresque C.F. et al., 1985; Floc'h J.Y. et al 1991). Es conocida comercialmente como ¨wakame¨ y presenta diversas aplicaciones en la industria alimenticia, farmacéutica, cosmética y en la agricultura como fertilizante natural o como compuesto fitoactivo (Kolb N. et al, 2004; Gómez-Ordóñez E. et al, 2010; Stabili L. et al, 2014; Nitschke U. and Stengel D.B., 2015). Desde el punto de vista ambiental se ha estudiado su capacidad para adsorber metales como Ni y Cu (Chen Z. et al, 2008), Zn y Cd (Plaza Cazón J. et al, 2013) y su empleo como monitores biológicos ambientales (Burger J. et al, 2007; Qari R. and Siddiqui S.A., 2010).

El ingreso de *U. pinnatifida* en las costas patagónicas se reportó en el año 1992, en la ciudad de Puerto Madryn (42° 49’S, 65°04’O) y a partir de allí su distribución ha sido

constante en el resto del litoral argentino, especialmente en zonas portuarias relacionándose este hecho con su transporte en el agua de lastre de buques o bien con su posible adhesión a los cascos de las embarcaciones (Piriz M.L. and Casas G., 1994; Casas G. and Piriz M.L., 1996; Martín J.P. and Cuevas J.M., 2006; Rico A., 2009; Dellattore F.G. et al, 2012; Meretta P.E. et al, 2012; Dellatorre F.G.et al, 2014).
U. pinnatifida ha demostrado una exitosa estrategia de dispersión relacionada a su ciclo reproductivo, en el cual las esporas y los gametofitos permanecen viables en el agua de lastre de las embarcaciones que los transportan en forma accidental o formando "bancos de semillas" durante más de uno o dos años por lo que la remoción manual como técnica de erradicación es prácticamente imposible (Hay C.H., 1990; Hewitt C. et al, 2005; Henkel S.K. and Hofmann G.E., 2008; Minchin D. et al., 2013). Las invasiones biológicas representan una gran amenaza para las comunidades naturales y la presencia de especies invasoras como *U. pinnatifida* ha causado disminución en la biodiversidad de algas nativas y aumento de la macrofauna bentónica (Carlton J.T. and Geller J.B., 1993; Casas G. et al, 2004; Dellatorre F.G.et al, 2014). Las culturas asiáticas han consumido tradicionalmente macroalgas como una fuente natural de alimentos y medicinas Japón, Korea, China, Vietman, Indonesia y Taiwan son los mayores consumidores (Besada V. et al, 2009). En Europa, existe un creciente interés en cosechar las algas marinas para alimento, sin embargo en la actualidad, con excepción de Francia, no existen regulaciones específicas sobre su utilización para consumo humano (Rúperez P., 2002; Kolb N. et al, 2004; Taboada M.C. et al, 2013). Estudios científicos han comprobado sus excelentes propiedades naturales como antioxidantes, neuroprotectoras, antivirales, antibacteriales y contra el cáncer, la obesidad, la diabetes y la hipertensión, entre otras (El Gamal A.A., 2010; Eom S.H. et al, 2012; Thuy T.T.T. et al, 2015). No se registran trabajos dentro de esta temática realizados en nuestro país. *U. pinnatifida* se encuentra en incipiente comercialización en la Argentina, podría considerarse a futuro una especie con potencial para diversos usos aplicados y por ello, requiere un análisis detallado de sus constituyentes químicos y nutricionales, así como la concentración de metales, para su uso en alimentación.
Existe una gran variedad de técnicas y procedimientos para determinar con alta sensibilidad, concentraciones de metales pesados y otros componentes químicos de interés, presentes incluso en cantidades traza en material vegetal. Entre ellas se destaca el empleo de Fluorescencia por rayos X con geometría de reflexión total (TXRF). Esta técnica novedosa presenta numerosas ventajas, es rápida, requiere poca cantidad de muestra y es posible la determinación elemental simultánea de elementos livianos y pesados (desde Na-U) y con bajo límite de detección (Carvalho M.L. et al, 1997; Varga I. et al, 1999).

El presente trabajo tiene como objetivos, describir las características morfológicas y del ciclo de vida de *U. pinnatifida* para Punta Marqués (Rada Tilly) y analizar estacionalmente su composición química/nutricional.

MATERIALES Y MÉTODOS

El área de estudio fue el intermareal de Punta Marqués (45°56´S, 67°32´O), ubicado en la localidad de Rada Tilly (Fig. 1). Los muestreos se realizaron desde febrero hasta julio de 2014. Un número de 4 ejemplares fueron recolectados por estación/fase. Cada uno de ellos fue marcado con un precinto numerado en la base y georreferenciado empleando un GPS Garmin eTrex. Se tomaron datos morfométricos en láminas, nervaduras y esporofilos, describiendo las características mejor representadas en cada estación del

año, lo que permitió la determinación y agrupación de los ejemplares en 5 Fases (Fases: I a V, según Riera M. et al, 2013).



Figura 1: A. Ubicación de la localidad de muestreo en la región central del Golfo San Jorge. **B y C.** Detalle del extenso intermareal de la Punta Marqués durante la bajamar, con presencia de pozas de mareas y canales donde habita *Undaria pinnatifida*.

Fotos: M. Riera

Análisis de la composición química y nutricional de *Undaria pinnatifida*

Los ejemplares fueron extraídos manualmente de pozas de marea y canales (Fig. 1), lavados cuidadosamente con agua de mar *in situ* y en el laboratorio con agua destilada para eliminar organismos epífitos, sedimentos, restos orgánicos, epibiontes, etc. que pudieran afectar el análisis químico. Posteriormente, las muestras fueron secadas en ambiente aireado durante 5 días y almacenadas al vacío en bolsas herméticas.

La cuantificación de los micro y macronutrientes se realizó por espectrometría de Fluorescencia por rayos X con geometría de reflexión total (TXRF), utilizando un equipo S2 Picofox (Bruker) ubicado en el Centro Atómico Constituyentes (CNEA). Previamente las muestras fueron mortereadas hasta la obtención de un polvo fino y homogéneo, digeridas empleando un equipo digestor por microondas Microwave Labstation mls 1200 mega (Milestone), usando un programa testeado por el Laboratorio de Fluorescencia de la Comisión Nacional de Energía Atómica, se pesaron alrededor de 0,5 g de alga seca, luego fueron colocados dentro de un vaso de Teflon y se agregaron 3 mL de HNO_3 concentrado destilado sub:boiling (Anedra, 65%) y 1 mL de H_2O_2 ultrapura (Merck). Esta mezcla fue digerida según el programa que se detalla en la Tabla 1, obteniéndose al final una solución homogénea y transparente. La solución se dejó enfriar, luego transferida a un matráz de 10 mL y llevada a volumen con agua destilada. Como control, para el análisis, a cada muestra se le agregó Galio como estándar interno.

Tabla 1. Programa empleado para la digestión ácida de las muestras de algas

Applied Power (W)	Time (min)
250	1
0	1
250	5
400	5
650	5
400	5

RESULTADOS

Undaria pinnatifida: **características morfológicas y fenológicas en el área de estudio**
Macroalga de coloración parduzca, con estipe corto, lámina de bordes hendidos y nervadura central. Cuando está madura, desarrolla una estructura reproductiva ondulada y rígida llamada esporofilo, encargada de liberar las esporas. El tamaño de los individuos a lo largo de su ciclo biológico alcanza un máximo de 900 mm.

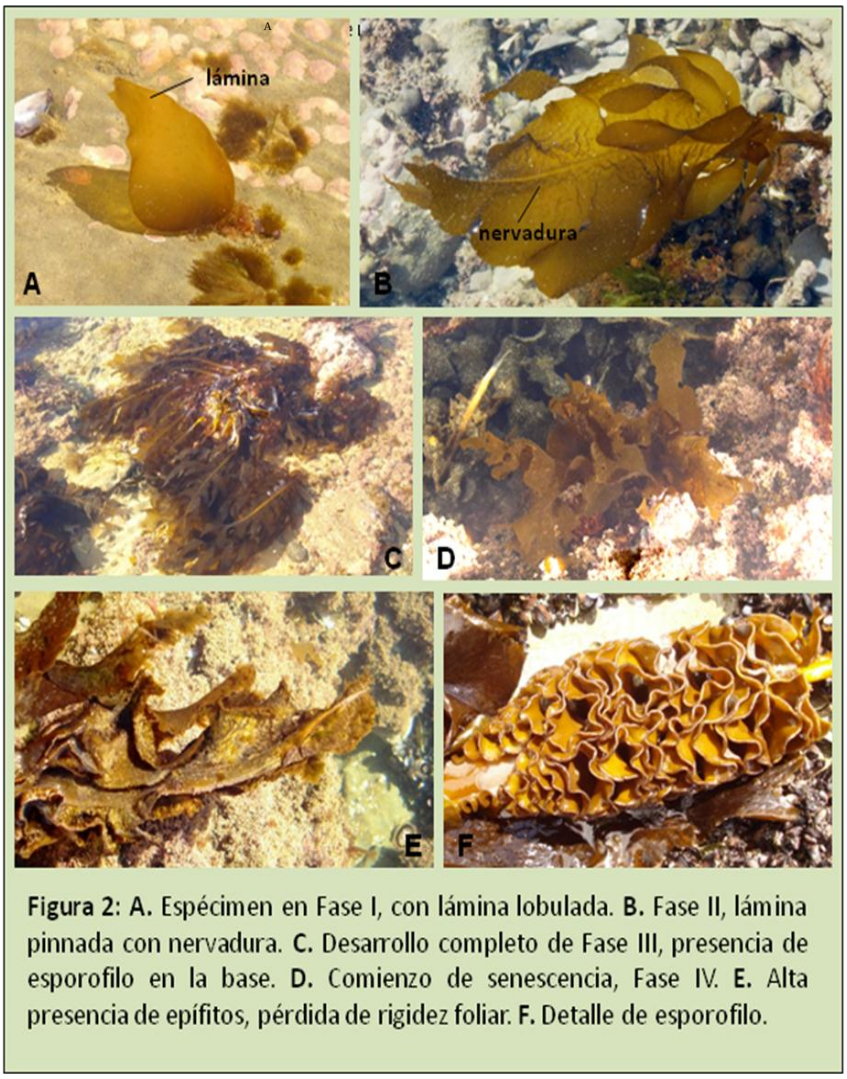


Figura 2: A. Espécimen en Fase I, con lámina lobulada. **B.** Fase II, lámina pinnada con nervadura. **C.** Desarrollo completo de Fase III, presencia de esporofilo en la base. **D.** Comienzo de senescencia, Fase IV. **E.** Alta presencia de epífitos, pérdida de rigidez foliar. **F.** Detalle de esporofilo.

Fotos: M. Riera

A principios del otoño, se observan los primeros ejemplares, presentando una lámina lobulada y nervadura incompleta, denominados Fase I (Fig. 2A). A mediados de otoño, aumentan de tamaño, desarrollándose una lámina pinnada, con nervadura completa, y en menores casos, un esporofilo incipiente, representando la Fase II (Fig. 2B). En invierno, alcanzan las mayores tallas y el esporofilo se encuentra completamente desarrollado, característico de la Fase III (Fig. 2C). Estas morfologías perduran hasta mediados de la primavera, donde la lámina comienza a exhibir una notoria perdida de sostén y rigidez foliar en Fase IV (Fig. 2D). Durante el período de verano, disminuye en forma notable el número de ejemplares en Fase V (Fig. 2E), los cuales se desprenden fácilmente por senescencia, y frecuentemente producen los arribazones de las estructuras más resistentes, como la nervadura, el esporofilo y grampón (Fig. 2F).

Análisis estacionales de composición química y nutricional de *Undaria pinnatifida*

Se realizaron estudios estacionales analizando la composición química y nutricional de *U. pinnatifida*. Los elementos determinados y cuantificados fueron: Na, Mg, P, S, Cl, K, Ca, V, Cr, Mn, Fe, Cu, Zn, As, Br, Rb y Sr.

Los resultados preliminares de la variación en la concentración de los elementos analizados se muestran en la Tabla 2. Como puede observarse, los datos correspondientes a la estación primavera (Fase IV del ciclo) no se incluyen debido a que aún no han sido analizados.

Tabla 2. Contenido químico y nutricional para cada estación/fase del ciclo de vida de *Undaria pinnatifida*. La concentración se expresa en mg/100 g de peso seco.

	Abril/Fase I OTOÑO	**Mayo/Fase II OTOÑO**	**Julio/ Fase III INVIERNO**	**Febrero/ Fase V VERANO**
Elemento	Conc./(mg/ 100 g)	Conc./(mg/100g)	Conc./(mg/100 g)	Conc./(mg/100 g)
Na	2045,7 ± 143,2	-	-	1861,5 ± 130,3
Mg	170,1 ± 11,9	-	-	243,6 ± 17,1
P	507,6 ± 35,5	34,5 ± 2,4	700,0 ± 49,0	411,6 ± 28,8
S	537,1 ± 37,6	38,6 ± 2,7	353,0 ± 24,7	839,8 ± 58,8
Cl	209,7 ± 14,7	22,9 ± 1,6	164,9 ± 11,5	191,8 ± 13,4
K	5483,5 ± 383,8	204,6 ± 14,3	2076,9 ± 145,4	3262,5 ± 228,4
Ca	429,3 ± 30,1	35,1 ± 2,5	388,6 ± 27,2	537,1 ± 37,6
V	0,09 ± 0,01	< 0,03	< 0,03	0,10 ± 0,01
Cr	0,17 ± 0,01	< 0,03	< 0,03	0,13 ± 0,01
Mn	0,60 ± 0,04	< 0,02	0,55 ± 0,04	0,58 ± 0,04
Fe	14,0 ± 1,0	0,39 ± 0,03	6,3 ± 0,4	12,1 ± 0,8
Cu	< 0,01	< 0,01	0,12 ± 0,01	0,19 ± 0,01
Zn	1,7 ± 0,1	0,26 ± 0,02	0,81 ± 0,06	2,1 ± 0,2
As	3,1 ± 0,2	0,20 ± 0,01	1,7 ± 0,1	3,3 ± 0,2
Br	4,5 ± 0,3	0,58 ± 0,04	4,7 ± 0,3	9,4 ± 0,7
Rb	2,4 ± 0,2	0,10 ± 0,01	1,0 ± 0,1	1,4 ± 0,1
Sr	56,1 ± 3,9	4,0 ± 0,3	43,2 ± 3,0	56,9 ± 4,0

Los resultados presentados corresponden a los muestreos correspondientes a febrero (Verano), abril y mayo (Otoño) y julio (Invierno) de 2014. A lo largo del otoño pueden identificarse tanto ejemplares en Fase I como en Fase II. El invierno está caracterizado por ejemplares en Fase III, durante la primavera son mayoritarios los individuos en Fase IV y la senescencia (Fase V) ocurre durante el verano.

Como se desprende de la Tabla 2, los elementos encontrados en mayor concentración fueron sodio (Na), magnesio (Mg), potasio (K) y calcio (Ca) en todas las muestras analizadas, con una variación anual muy marcada, y valores de Na y Mg con concentraciones detectadas sólo en las Fases I y V.

Dentro de los analitos mayoritarios cuantificados, el K fue el que se presentó en mayor concentración, variando significativamente en las estaciones/fases estudiadas, mostrando el mayor rango entre los valores detectados, entre 204,6 mg/100 g de peso seco en la Fase II y 5483,5 mg/100 g de peso seco en Fase I, ambas correspondientes al otoño. El Ca, mostró leves diferencias a lo largo del año, con excepción de la Fase II donde los valores fueron significativamente más bajos que el resto.

Por otra parte, el contenido de fósforo (P), azufre (S), cloro (Cl) y estroncio (Sr) en las muestras fue también muy importante. El contenido de P varió significativamente con el período del año, observándose la mayor concentración durante el invierno (700,0 mg/100 g de peso seco de alga) y la menor en la Fase II (34,5 mg/100 g de peso seco) correspondiente al otoño. La variación en la concentración de S durante el ciclo también fue notable encontrándose entre 38,6 mg/100 g de peso seco (otoño/Fase II) y 839,8 mg/100 g de peso seco en el verano (Fase V). El cambio en el contenido de Cl a lo largo de las estaciones fue menos apreciable, excepto en la Fase II donde la concentración fue considerablemente menor (22,9 mg/100 g de peso seco). Por último, el contenido de Sr fue menos relevante, encontrándose valores inferiores a los observados para los elementos mencionados anteriormente. El rango de concentraciones estuvo entre 4,0 mg/100 g de peso seco (otoño/Fase II) y 56,9 mg/100 g de peso seco en las muestras de verano, sin contemplarse diferencias significativas con el contenido encontrado en la Fase I.

Dentro de los componentes mayoritarios encontramos al hierro (Fe), con una concentración inferior respecto a los otros, se trata de un elemento esencial y componente importante de las proteínas implicadas en el transporte del oxígeno y el metabolismo. El contenido de Fe es notablemente bajo en la Fase II, observándose un valor de 0,39 mg/100 g de peso seco en ese período. La concentración más alta se observó en la Fase I, alcanzando un valor promedio de 13,9 mg/100 g de peso seco.

También se detectaron constituyentes trazas en las muestra, la variación de la concentración de zinc (Zn), arsénico (As), bromo (Br), cromo (Cr) y rubidio (Rb) también se muestra en la Tabla 2. La cantidad de Zn varió en las diferentes etapas, observándose la mayor concentración durante el verano (Fase V) (2,1 mg/100g peso seco), y en la Fase II/otoño se registró la concentración más baja (0,26 mg/100g peso seco). Los cambios significativos durante el ciclo de vida también se reflejan en la concentración de As total donde la concentración más alta se registró en el verano (Fase V 3,3 mg/100g peso seco). El Br mostró la mayor variación con el período del año, siendo menor en la Fase II (0,58 mg/ 100 g peso seco) y máximo durante el verano (Fase V, 9,4 mg/100g peso seco). Se encontró que el rango de concentración observada para Rb entre 0,1 mg/100 g peso seco y 2,4 mg/100 g peso seco, fue para las fases I y II, respectivamente.

La concentración de vanadio (V), siempre estuvo por debajo del límite de cuantificación para este elemento. El contenido de Cr, fue bajo, registrándose los valores máximos en la Fase I (0,17 mg/100 g de peso seco). La concentración de Mn se mantuvo constante,

excepto en la Fase II, correspondiente al final del otoño donde la concentración estuvo por debajo del límite de cuantificación. Por último el cobre (Cu) solo fue registrado en las muestras correspondientes a invierno en muy bajas concentraciones.

DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos en el presente estudio demuestran que TXRF es una técnica adecuada para el análisis de muestras vegetales, como en nuestro caso, macroalgas marinas, porque es rápida, permite la determinación de un gran número de elementos simultáneamente y con gran precisión. Numerosos trabajos reportan las ventajas de su uso en muestras biológicas, incluyendo a las algas, especialmente para elementos presentes en cantidades traza (Carvalho M.L. et al, 1997; Barkács K, 1999; Varga I. et al, 1999; Misra N.L et al, 2006). Si bien, la técnica empleada es multielemental, los elementos más livianos, como el Na y el Mg son dificiles de detectar, y se evidencia su dificultad de cuantificación en algunas muestras. En concordancia con otros trabajos publicados (Taboada M.C. et al, 2013; Rupérez P., 2002), en los cuales puede comprobarse que *Undaria pinnatifida* es un recurso natural con un alto contenido mineral, principalmente Na, Mg, Ca y K; resultando en un producto especialmente interesante desde el punto de vista alimenticio (fitoterapeutico). Como fue reportado por otros autores, nuestros resultados mostraron que la composición química de las algas marinas varía, entre otras cosas con la madurez y condiciones ambientales, principalmente con la estación del año, el hábitat (sustrato, grado de exposición) y profundidad en la que crece (Cofrades S. et al, 2010; Qari R. and Siddiqui S.A., 2010). En particular, nuestros estudios muestran una gran variación estacional en los elementos detectados. Si bien no hay trabajos interdisciplinarios donde se relacione el contenido mineral y la estación/fase del ciclo de vida; existen estudios puntuales sobre contenido químico y nutricional para *U. pinnatifida* de otras regiones del planeta. El contenido de Na, Mg, K, y Ca detectado en nuestras muestras fue significativamente menor al reportado por Rúperez P., 2002 y Cofrades S. et al, 2010 para *Undaria*. El valor reportado por los mismos autores para Mn fue levemente superior que el encontrado en este estudio. Por su parte la concentración de Fe total encontrada en este trabajo fue muy similar a la reportada por Cofrades S. et al, 2010 y el doble de la indicada por Rúperez P, 2002. El Zn, por su parte, fue del orden del reportado por Rúperez P., 2002, pero inferior al mencionado por Cofrades S. et al, 2010. Estos resultados comprueban lo ya mencionado anteriormente, que la composición química varia con el lugar de muestreo coincidiendo con los mencionados autores, siendo el contenido de los metales, mucho más dependiente del medio, debido a que las algas pueden adsorber rápida y reversiblemente iones metálicos libres sobre la superficie externa de la pared celular (Plaza J. et al, 2011) y/o incorporarlos a su estructura, almacenándolos en vacuolas ricas en polifenoles a través de un mecanismo regulado por el metabolismo celular (Garnham G.W. et al, 1992). La capacidad de bioacumular está relacionada con su inhabilidad para regular la concentración de metales pesados en sus tejidos y a su alta tolerancia a la presencia de altos niveles de estos contaminantes en el ambiente donde se encuentran. Sin embargo, los valores encontrados para As y Cu son similares a los reportados en la literatura. Los valores más bajos se registraron mayormente en la Fase II del ciclo, correspondiente a la etapa final del otoño, donde los individuos se preparan para la etapa reproductiva, que ocurre durante el invierno, como en otras poblaciones de esta especie ubicadas en el hemisferio sur (Hay C.H. and Luckens P.A. 1987; Casas G.M. and Piriz M.L. 1996; Stuart M.D. et al, 1999; Farias S. et al, 2002; Dean P.R and Hurd

C.L., 2007; Primo C. et al. 2010; Schiel and Thompson 2012). Esa etapa se caracteriza por el comienzo del desarrollo de los esporofilos, que son las estructuras encargadas de la reproducción, con desarrollo completo en la Fase III, pudiendo relacionarse con el destino de recursos por parte del organismo a la producción de ellas. El análisis de los esporofilos se encuentra actualmente en proceso, dado el interés en comparar esta estructura reproductiva con el encontrado en las láminas foliares a nivel estacional.

Se concluye que la técnica empleada (TXRF) resulta adecuada, especialmente para alcanzar elementos en cantidades trazas, pudiendo para los mayoritarios utilizarse algún método con mayor límite de detección.

Los resultados indican una gran variación estacional en cuanto a sus constituyentes químicos y composición nutricional, indicando que a lo largo del ciclo de vida del alga ocurren cambios fisiológicos marcados a nivel biológico/químico funcional. Es trabajo futuro, poder seguir vinculando los aspectos biológicos/ecológicos ambientales con la presencia/ausencia de ciertos elementos. Este estudio nos demuestra la importancia de las investigaciones interdisciplinarias para conocer cual es la mejor época de aprovechamiento de este recurso natural, para futuros fines aplicados.

AGRADECIMIENTOS

El presente trabajo se desarrolla dentro de las becas CONICET de la Dra. V. Salomone (posdoctoral cofinanciada con UNSAM) y de la Lic. M. Riera (doctoral en UNPSJB y UNSAM). Se agradece la continua participación del grupo de CNEA (Ing. R. Servant y equipo), a la Dra. A. Rico de la UNPSJB por el subsidio CIUNPAT/UNPSJB con el que se realizan los muestreos locales, al Municipio de Rada Tilly (Chubut) por su interés y colaboración, y al CONICET por el subsidio personal a C.M. (Res. 4541-12).

REFERENCIAS

Barkács K., Varga A., Ga´l-Solymos K. and Zaray G., 1999. Direct determination of metal concentrations in fresh water algae by total reflection X-ray fluorescence spectrometry, *J. Anal. At. Spectrom*. 14: 577– 581.

Besada V., Andrade J.M., Schultze F. and González J.J., 2009. Heavy metals in edible seaweeds commercialised for human consumption. *J. of Marine Systems*. 75: 305-313.

Boudouresque CF., Gerbal M. and Knoepffler-Péguy M., 1985. L'algue japonnaise *Undaria pinnatifida* (Phaeophyceae, Laminariales) en Méditerranée. *Phycologia*. 24, 364-366.

Burger J., Gochfeld M., Jeitner C., Gray M., Shukla T. and Burke S., 2007. Kelp as a bioindicator: Does it matter which part of 5 M long plant is used for metal analysis? *Environmental Monitoring and Assessment*, 128, 1-3: 311-321.

Carlton J.T. and Geller J.B, 1993. Ecological roulette: the global transport of nonindigenous marine organisms. *Science*. 261: 78-82.

Carvalho M.L., Ferreira J.G., Amorim P., Marques M.I.M. and Ramos M.T, 1997. Study of heavy metals and other elements in macrophyte algae using energy-dispersive x-ray fluorescence. *Environmental Toxicology and Chemistry*. 16: 807-812.

Casas G.N. and Piriz M.L., 1996. Surveys of *Undaria pinnatifida* (Laminariales, Phaeophyta) in Golfo Nuevo, Argentina. *Hydrobiologia* 326/327: 213-215.

Casas G., Scrosati R. and Piriz M.L, 2004. The invasive kelp *Undaria pinnatifida* (Phaeophyceae, Laminariales) reduces native seaweed diversity in Nuevo Gulf (Patagonia, Argentina). *Biological Invasions*. 6: 411-416.

Chen Z., Ma W. and Han M., 2008. Biosorption of nickel and copper onto treated alga (*Undaria pinnatifida*): Applications of isotherm and kinetic models. J. *Hazard. Mat.* 155, 327-333.

Cofrades S., Lopez-Lopez I., Bravo L Ruiz-Capillas C., Bastida S., Larrea M.T. and. Jimenez-Colmenero F., 2010. Nutritional and Antioxidant Properties of Different Brown and Red Spanish Edible Seaweeds. *Food Science and Technology International*. 1-10.

Dean PR and Hurd CL, 2007 Seasonal growth, erosion rates, and nitrogen and photosynthetic ecophysiology of *Undaria pinnatifida* (Heterokontophyta) in Southern New Zealand. *J. Phycol.* 43: 1138–1148

Dellatorre F.G, Amoroso R., Barón P.J., 2012. El alga exótica *Undaria pinnatifida* en Argentina: Biología, distribución y potenciales impactos. Editorial Académica Española, 60 p.

Dellatorre F.G, Amoroso R, Saravia J. And Orensanz J.M., 2014. Rapid expansion and potential range of the invasive kelp *Undaria pinnatifida* in the Southwest Atlantic. *Aquatic invasions*. 9: 4: in press.

El Gamal A.A., 2010. Biological importance of marine algae. *Saudi Pharmaceutical Journal*. 18: 1-25.

Eom S-H.,. Kim Y.M. and Kim S-K, 2012. Antimicrobial effect of phlorotannins from marine brown algae. *Food and Chemical Toxicology*. 50: 3251-3255.

Farias S., Pérez Arisnabarreta S., Vodopidez C. and Smichowski P., 2002. Levels of essential and potentially toxic trace metals in Antartic macro algae. *Spec. Chim. Acta Part B.* 57: 2133-2140.

Floc'h JY, Pajot R, Wallentinus I., 1991. The Japanese brown alga *Undaria pinnatifida* on the coast of France and its possible establishment in European waters. *ICES Journal of Marine Science* 47: 379-390.

Garnham, G.W, Codd G.A and Godd G.M, 1992 Accumulation of cobalt, zinc and manganese by the estuarine green microalga *Chlorella salina* inmobilized in alginate microbeads. *Environ. Sci. Technol*. 26, 9: 1764-1770.

Gómez-Ordóñez E., Jiménez-Escrig A. and Rúperez P., 2010. Dietary fibre and physicochemical properties of several edible seaweeds from the northwestern Spanish coast. *Food Research International*. 43: 2289-2294.

Hay CH, Luckens PA., 1987. The Asian kelp *Undaria pinnatifida* (Phaeophyta: Laminariales) found in a New Zealand harbour. *New Zealand Journal of Botany*. 25(2): 329-332.

Hay C.H., 1990. The dispersal of sporophytes of *Undaria pinnatifida* by coastal shipping in New Zealand, and implications for further dispersal of *Undaria* in France. *British Phycological Journal*. 25(4): 301-314.

Henkel S.K, Hofmann G.E., 2008. Thermal ecophysiology of gametophytes cultured from invasive *Undaria pinnatifida* (Harvey) Suringar in coastal California harbors. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 367: 164-173.

Hewitt C., Campbell M., McEnnulty F., Moore K., Murfet N., Robertson B. and Schaffelke B., 2005. Efficacy of physical removal of a marine pest: the introduced kelp *Undaria pinnatifida* in a Tasmanian Marine Reserve. *Biological Invasions*. **7**: 251–263.

Kolb N., Vallorani L., Milanovic N. and Stocchi V., 2004. Evaluation of Marine Algae Wakame (*Undaria pinnatífida*) and Kombu (*Laminaria digitata japonica*) as Food Supplements. *Food Technol. Biotechnol*. 42: 57-61.

Martin JP, Cuevas J.M., 2006. First record of *Undaria pinnatifida* (Laminariales, Phaeophyta) in Southern Patagonia, Argentina. *Biological Invasions.* 8:1399–1402.

Meretta P.E, Matula C.V, Casas G., 2012. Occurrence of the alien kelp *Undaria pinnatifida* (Laminariales, Phaeophyceae) in Mar del Plata, Argentina. *BioInvasions Records.* s1: 59–63.

Minchin D., Cook E.J, Clark P.F., 2013. Alien species in British brackish and marine waters. *Aquatic Invasions*. 8: 1.

Misra N.L., Dhara S. and Singh Mudher K.D, 2006. Uranium determination in seawater by total reflection X-ray fluorescence spectrometry. *Spectrochimica Acta Part B,* 61: 1166-1169.

Nitschke U. and Stengel D.B., 2015. A new HPLC method for the detection of iodine applied to natural samples of edible seaweeds and commercial seaweed food products. *Food Chemistry*. 172: 326-334.

Piriz ML and Casas G., 1994. Occurrence of *Undaria pinnatifida* in Golfo Nuevo, Argentina. *Applied Phycology Forum* 10: 4.

Plaza J., Viera M. Donati E. and Guibal E., 2011. Biosorption of mercury by *Macrocystis pyrifera*: Influence of zinc, cadmium and nickel. *J. Env. Sci*. 23, 11: 1178-1786.

Plaza Cazón J., Viera M., Donati E. and Guibal E., 2013. Zinc and cadmium removal by biosorption on *Undaria pinnatifida* in batch and continuous processes. *J. Env. Manangement.* 129: 423-434.

Primo C, Hewitt CL, Campbell ML, 2010. Reproductive phenology of the introduced kelp *Undaria pinnatifida* (Phaeophyceae, Laminariales) in Port Phillip Bay (Victoria, Australia). *Biol Invasions* 12: 3081–3092.

Qari R. and Siddiqui S.A., 2010. A comparative study heavy metal concentration in red seaweeds from different coastal areas of Karachi, Arabian Sea. *Ind. J. Mar. Sci*. 39: 1: 27-42.

Rico A., 2009. Ecología de las comunidades bentónicas submareales del Puerto de Comodoro Rivadavia (Chubut, Argentina). Tesis doctoral. Facultad de Ciencias Naturales y Museo. Universidad Nacional de La Plata. 144 pp.

Riera M.G., Rico A.E. and Muniain C.C., 2013. *Undaria pinnatifida* (Harvey) Suringar 1973 en el área central del Golfo San Jorge. XXXIV Jornada Argentina de Botánica. La Plata, Buenos Aires.

Rupérez P., 2002. Mineral content of edible marine seaweeds. *Food Chemistry*. 79: 23-26.

Schiel D.R. and Thompson G.A., 2012. Demography and population biology of the invasive kelp *Undaria pinnatifida* on shallow reefs in southern New Zealand. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*. 434–435: 25–33.

Stabili L., Acquaviva M.I., Biandolino F., Cavallo R.A., De Pascali S.A., Fanizzi F.P., Narracci M., Cecere E. and Petrocelli A., 2014. Biotecnological potential of the seaweed Cladophora rupestris (Chlorophyta, Cladophorales) lipidic extract. *New Biotecnology*. 31, 5: 436-444.

Stuart M.D, Hurd C.L, Brown M.T., 1999. Effects of seasonal growth rate on morphological variation of *Undaria pinnatifida* (Alariaceae, Phaeophyceae). *Hydrobiologia* 398/399: 191–199.

Taboada M.C., Millán R. and Miguez M.I., 2013. Nutritional value of the marine algae wakame (*Undaria pinnatifida*) and nori (*Porphyra purpurea*) as food supplements. *J. Appl. Phycol*. 25: 1271-1276.

Thuy T.T.T, Ly M.B, Van T.T.T, Quang N.V., Tu H.C, Zheng Y., Seguin-Devaux C., Mi B. and Ai U., 2015. Anti-HIV activity of fucoidans from three brown seaweed species. *Carbohydrate Polymers*. 115: 122-128.

Varga I., Rierpl E. and Tusai A., 1999. Comparison of slurry preparation and microwave digestion of freshwater algae for multi-element analysis by total reflection X-ray fluorescence spectrometry. *J. Anal. At. Spectrom.* 14: 881-883.

INTERPRETACIÓN GEOMORFOLÓGICA EN EL MARCO DE UN INVENTARIO DE HUMEDALES: EL CASO DE LA LLANURA COSTERA DE AJÓ

San Martín Laura [a], Eliana. B. González [a,],Gabriela Gonzalez Trilla[a], José Luis Cavallotto[c] y Patricia Kandus[a]

[a] Laboratorio de Ecología, Teledetección y Eco-Informática, Instituto de Investigaciónes e Ingeniería Ambiental, Universidad Nacional de San Martín, ARGENTINA.
[c.] División Geología y Geofísica Marina, Servicio de Hidrografía Naval, ARGETINA.

e-mail: sanmartin.laura@gmail.com

RESUMEN

Los ambientes costeros y sus humedales aportan diversos servicios ecosistémicos, pero también constituyen ambientes de gran vulnerabilidad frente a cambios climáticos y a los usos humanos, en particular a la construcción de obras de ingeniería. El objetivo de este trabajo es identificar criterios geomorfológicos para la clasificación y cartografía de humedales costeros. Se trabajó en la Llanura Costera de Ajó, que se encuentra ubicada en la provincia de Buenos Aires, entre la llanura pampeana y el cordón costero actual, y entre las localidades costeras de Punta Piedras al norte y Pinamar al sur. Consiste en una cuña clástica costera formada durante los eventos transgresivo - regresivos originados con posterioridad a la última glaciación. Su relieve, subhorizontal y levemente deprimido, impiden el drenaje libre de las aguas, que sumado a la posición del nivel freático cercano a la superficie, convierten esta zona en un sistema complejo formado por un mosaico de humedales de diferentes tipos. Se realizó un mapeo a partir de imágenes satelitales, cartas topográficas, y fotografías aéreas, caracterizando las unidades de acuerdo a diversos mapas geomorfológicos preexistentes y de suelos. Se reconocen las siguientes unidades/subunidades geomorfológicas: Llanura alta, Llanura costera con barreras litorales (Cordones litorales y Planicie de mareas interior), Llanura costera con espigas (Espiga, Planicie de mareas activa, Planicie de mareas inactiva y Bajos y lagunas) y Cordón costero. Las mismas fueron tratadas teniendo en cuenta distintos aspectos: geoformas, topografía, drenaje, suelos, geología y evolución. El mapa obtenido permite identificar los diferentes emplazamientos geomorfológicos que condicionan la expresión de los humedales de la región y su dinámica, siendo de interés en el marco de la implementación de un inventario nacional de humedales.

Palabras Clave: Humedales costeros, geomorfología, Llanura costera Ajó, inventario.

INTRODUCCIÓN

Los humedales son un tipo particular de ecosistemas que se caracterizan por permanecer con su suelo saturado o cubierto por una capa de agua relativamente somera durante considerables períodos de tiempo, debido al aporte producido por las crecidas de ríos, precipitaciones, deshielo o por afloramiento de agua subterránea (Keddy, 2000;). La importancia de los humedales costeros radica en la cantidad de servicios ecosistémicos que ofrecen, incluyendo control de la erosión y de inundaciones, purificación de aguas, disponibilidad de agua dulce, regulación climática, hábitat para biodiversidad y fuente de alimentos (pesca, forraje para ganadería), entre otros (Barros et al., 2006). Sin embargo, estos ecosistemas también son reconocidos por su vulnerabilidad frente a cambios climáticos (ascenso del nivel del mar, disponibilidad de recursos hídricos)

(Kandus et al., 2011;), y por las importantes tasas de pérdida frente a los actuales modos de usos de la tierra (Brinson y Malvárez, 2002).
Así, se torna inminente complementar los escenarios socioeconómicos y tecnológicos para diferentes horizontes temporales, con indicadores ambientales y criterios de monitoreo que, en el marco de un inventario nacional de humedales, den cuenta del estado y las funciones de estos ecosistemas (Benzaquén, 2008).
Ha sido ampliamente discutido en la literatura el valor del uso de criterios hidrogeomórficos a fin de clasificar e inventariar los ecosistemas de humedal (Semeniuk and Semeniuk, 1997; Brinson, 1993). Éstas asumen que la ocurrencia de los humedales está condicionada fuertemente por el emplazamiento geomorfológico y la litología del paisaje, en tanto que su mantenimiento y extensión están determinados por el régimen hidroclimático (Hamilton, 2002). Estos factores son los que determinan en última instancia los aspectos de biodiversidad de los humedales, su funcionamiento y, en consecuencia, los servicios ecosistémicos que proveen a la sociedad.
La mayoría de los trabajos sobre clasificación e identificación parten de una visión que asume que los humedales son entidades perfectamente individualizables como parches dentro de un paisaje terrestre (Minotti, 2013) y donde la teledetección acompaña y facilita la cartografía de coberturas de entidades ya reconocidas como humedal (Maxa and Bolstad, 2009). Sin embargo, este no es el caso de las planicies de inundación de los mega-ríos americanos y las llanuras costeras extendidas como la del Complejo Ajó–Samborombón, en donde los humedales se expresan como extensos complejos y la aplicación de la teledetección cobra importancia debido a la dificultad de acceso. A pesar de los diversos aportes al mapeo y monitoreo de humedales en las planicies de inundación sudamericanas (Salvia et al., 2009; Zóffoli et al., 2008), no hay criterios generalizables debido a la diversidad ambiental que involucran los humedales en términos ecohidrogeomórficos (Malvarez y Bó, 2004;), y la teledetección aún constituye para los humedales un área temática que se enmarca como un desafío en los actuales programas de investigación internacionales asociados a procesos de cambio en el uso de la tierra y cambio climático.
La zona de trabajo es la Llanura Costera de Ajó, que se encuentra ubicada en la provincia de Buenos Aires, entre la llanura pampeana y el cordón costero actual, y entre las localidades costeras de Punta Piedras al norte y Pinamar al sur, ver Fig. 1. Consiste en una cuña clástica costera formada durante los eventos transgresivo - regresivos originados con posterioridad a la última glaciación. Su relieve, subhorizontal y levemente deprimido, impiden el drenaje libre de las aguas, que sumado a la posición del nivel freático cercano a la superficie, convierten esta zona en un sistema complejo formado por un mosaico de humedales de diferentes tipos.
En este contexto, el objetivo del presente trabajo es proveer una interpretación geomorfológica de la Llanura Costera de Ajó, como base para el desarrollo de una clasificación de humedales con criterios hidrogeomórficos de la zona y para la implementación de protocolos de mapeo que contemplen su dinámica a partir de observaciones satelitales.

METODOLOGÍA

La realización del mapa geomorfológico se basa en la interpretación visual de escenas provenientes de sensores remotos: 1) seis imágenes satelitales Landsat 8 – OLI, con resolución de 30 metros de fechas: 13 de abril de 2013 (Path-Row: 224/85), 15 de mayo de 2013 (Path-Row: 224/85), 6 de octubre de 2013 (Path-Row: 224/85 y 223/86) y 10 de enero de 2014 (Path-Row: 224/85 y 224/86); 2) Fotografías aéreas pancromáticas a escalas 1:20.000 y 1:50.000 (Servicio de Hidrografía Naval, 1964;

INTA, 1967; Dirección de Geodesia de la provincia de Buenos Aires, 1985) y 3) Modelo Digital de Terreno (DEM) SRTM con resolución de 90m.

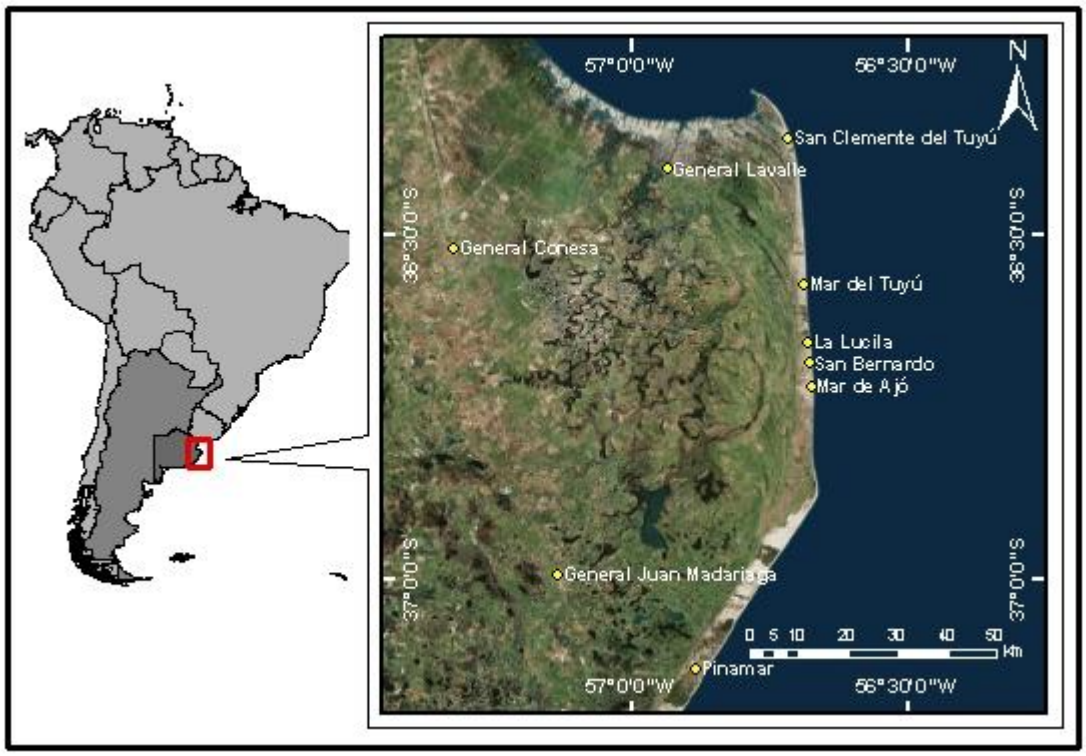


Figura 1. Ubicación de la zona de estudio.

Las imágenes Landsat 8 se encuentran proyectadas según Universal Transversa Mercator (UTM) faja 21 WGS84. Las fotografías aéreas y el DEM fueron registrados con respecto a las imágenes Landsat 8. Las unidades geomórficas fueron descriptas y nombradas siguiendo el trabajo de Violante et al., 2001. En cuanto al patrón de drenaje, a su vez, este fue relevado también a partir de la cartografía del IGN en escala 1:50.000, registrada con respecto a las imágenes Landsat 8. La información de suelos fue obtenida a partir de la cartografía de suelos de INTA (GeoINTA, 2014).
La identificación de Unidades geomorfológicas se basó en la digitalización en pantalla, tomando en cuenta criterios de patrones de drenaje y la presencia de geoformas particulares. La escala de digitalización fue 1:50.000. Para esto, se utilizaron combinaciones de bandas del sensor OLI 4-5-3, 5-6-4 y 6-7-2 y realces de los histogramas de cada banda. Finalmente, los resultados se discuten en relación al mapa geomorfológico disponible en la Municipalidad de General Lavalle (Plan Rural Participativo, 2004), la cartografía de suelos de INTA (GeoINTA, 2014) y el mapa geomorfológico realizado por el CFI, 1990. La interpretación del material de sensoramiento remotos, la cartografía preexistente y la digitalización fue realizada en el entornoArcGISv.10. Se realizó además una campaña de reconocimento general del área de estudio en junio 2014.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La Figura 2 presenta el mapa resultante de Unidades Geomorfológicas de la Llanura Costera de Ajó. El área de estudio se dividió en dos unidades geomorfológicas según su génesis: Llanura costera con barreras litorales y Llanura costera con espigas (Violante y Parker, 2000). La Llanura costera con barreras litorales contiene dos subunidades:

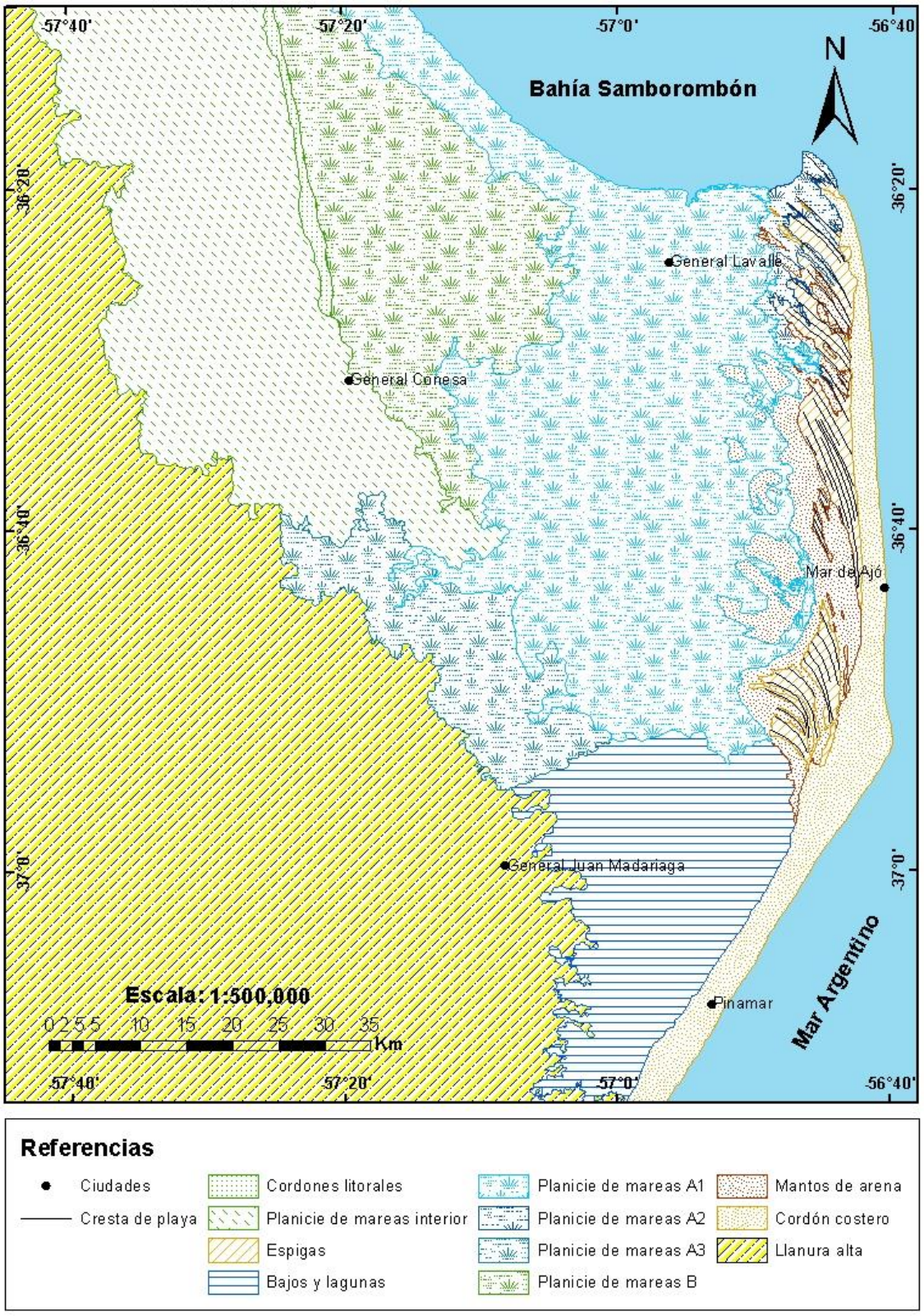


Figura 3. Mapa geomorfológico de la Llanura Costera de Ajó.

Cordones litorales y Planicie de mareas interior. La Llanura costera con espigas involucra a su vez, cuatro subunidades: Bajos y lagunas, Espiga, Planicie de mareas y Mantos de arena. A su vez, la Planicie de mareas se encuentra subdividida en sectores según las diferencias en el patrón de drenaje. Los límites de la llanura costera están dados por dos unidades geomorfológicas, la Llanura alta al oeste y sur y el Cordón

costero al este; y al norte por la Bahía de Samborombón. En la Tabla 1 se presentan las unidades geomorfológicas identificadas y su patrón de drenaje.

Tabla 1. Unidades geomorfológicas descriptas y sus patrones de drenaje.

Unidad geomorfológica			Patrón de drenaje
Llanura alta			Lagunas
Llanura costera	Llanura costera con barreras litorales	Cordones litorales	Sin patrón definido
		Planicie de mareas interior	Meandriforme inactivo y segmentado
	Llanura costera con espigas	Bajos y Lagunas	Lagunas interconectadas
		Espiga	Bajos intercordonales
		Planicie de mareas A1	Meandriforme inactivo y segmentado
		Planicie de mareas A2	Paralelo regulado por crestas de playa
		Planicie de mareas A3	Meandros pequeños y paralelos
		Planicie de mareas B	Anegamiento
		Mantos de arena	Pequeños cauces meandriformes cubiertos por los mantos
Cordón costero			Sin patrón definido

Llanura alta

Descripta por Violante, 1992 e incluida en la Llanura pampeana (Violante et al., 2001), se encuentra al oeste de la Llanura costera y corresponde a la zona ubicada en cotas superiores a los 5 m.s.n.m. Su relieve es suavemente ondulado y aumenta su altura hacia el oeste. Está compuesta por depósitos pre-Holocenos depositados como un manto por acción eólica y su borde oriental corresponde a una escarpa de no más de 1 metro de altura y de diseño irregular que representa la línea de costa en el máximo transgresivo holoceno. Los humedales presentan formas circulares a elongadas, poseen carácter intermitente y son alimentados por las lluvias locales. El drenaje actual se realiza mayoritariamente mediante canales artificiales (CFI, 1990). Ver Fig. 3.

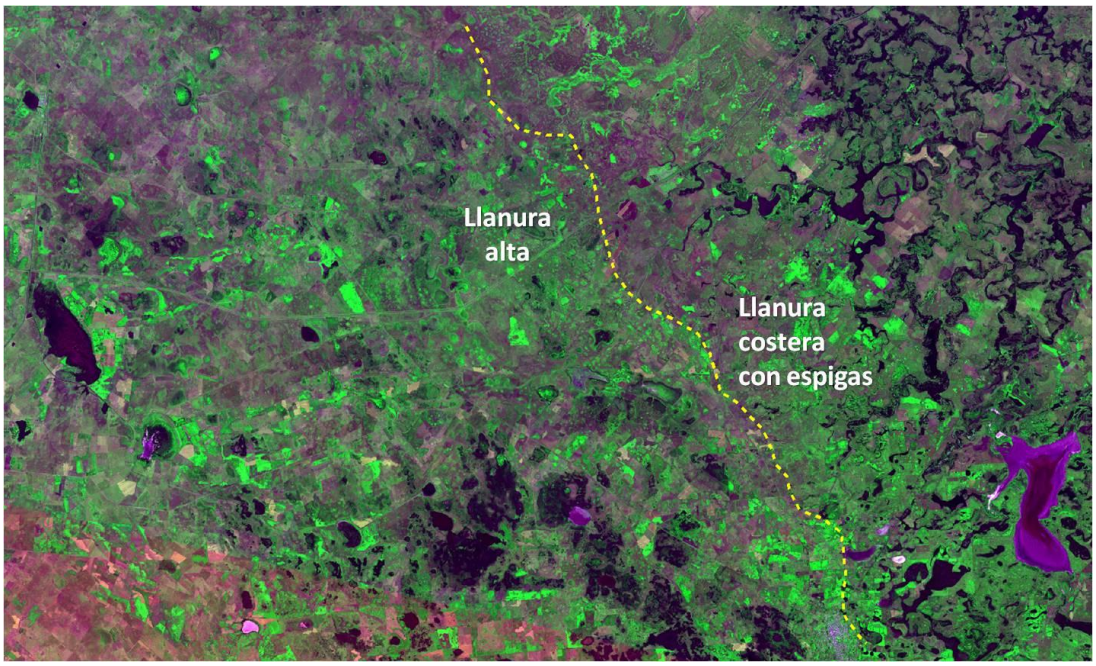


Figura 3. Límite entre la Llanura alta y la Llanura costera con espigas. Se observan patrones circulares a elongados al oeste y meandriformes al este. Imagen: Landsat 8 – OLI, Bandas: 4-5-2, 10/01/2014.

Llanura costera con barreras litorales

Se ubica al noroeste de la zona de estudio y consiste en la planicie de mareas formada al reparo de los cordones litorales adosados a Punta Piedras que se desarrollaron hacia el sur de la misma (Violante et al., 2001).

Los *Cordones litorales* se localizan recostados sobre la costa desde Punta Piedras hasta Canal 15 y luego se separan de la costa hacia el sur. Sobre ellos se ubica la traza de la

R.N. nº11, hasta General Conesa. Son cuerpos cordoniformes compuestos por series paralelas de bancos escalonados decrecientes hacia el este. Alcanzan hasta 2 km de ancho y hasta 5 m de altura en nuestra zona de trabajo, aunque hacia el norte pueden alcanzar los 10 metros de altura. Están compuestos por conchillas tamaño grava a arena que fueron depositados por tormentas y redistribuidos por la corriente litoral en sentido norte – sur y corresponden a l Mb. Cerro de la Gloria de la Fm. Las Escobas (CFI, 1990). Presentan suelos de las series Villa Roch y Santa Teresita, que son halpludoles fluvénticos y thaptoárgicos respectivamente (GeoINTA, 2014).

La *Planicie de mareas interior*, llamada Cuenca interior norte por CFI, 1990; alcanza cotas de hasta 4 metros. Se trata de una superficie subhorizontal con canales de marea inactivos perpendiculares a los cordones litorales y que culminan en ellos. Estos canales actualmente actúan como cubetas aisladas conformando humedales, en su mayoría temporarios, con formas meandrosas degradadas a circulares, ver Fig. 4. En la actualidad, el drenaje se realiza mediante canales artificiales. Corresponde al Mb. Canal 18 de la Fm. Las Escobas (CFI, 1990). Los suelos de los altos corresponden a la serie General Lavalle y son pelludertes típicos salinos. En los cauces, se presentan mayoritariamente las series La Victoria y Dolores, ambas de pelludertes típicosácuicos (GeoINTA, 2014).

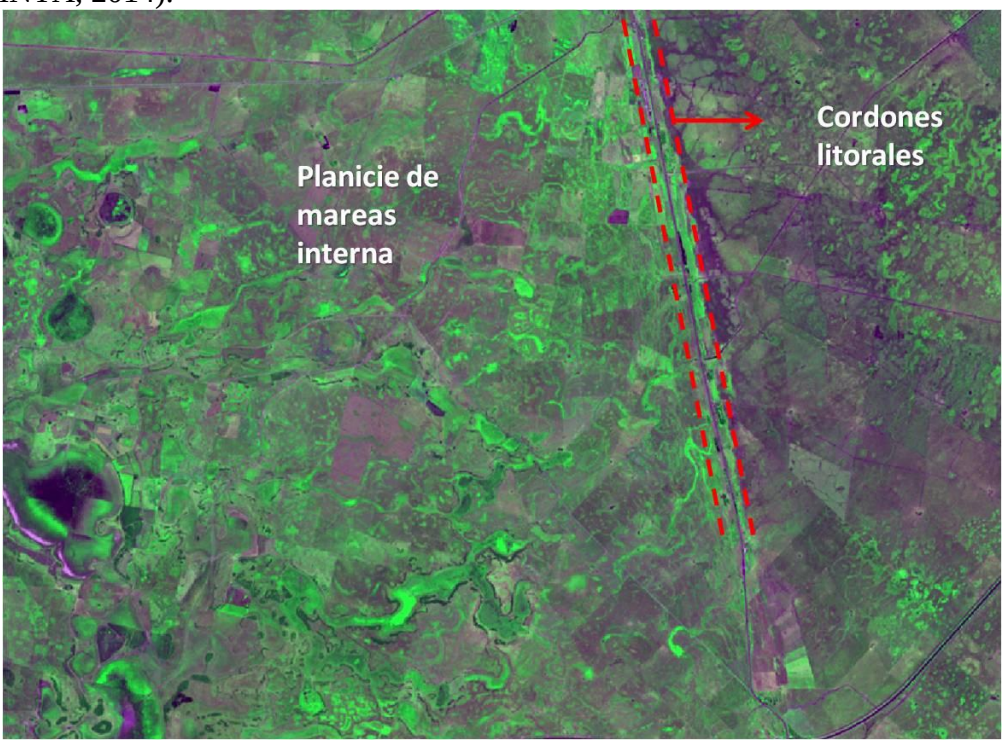


Figura 4. Cordones litorales y Planicie de mareas interna, en donde se disponen meandros degradados.
Imagen: Landsat 8 – OLI, Bandas: 4-5-2, 10/01/2014.

Llanura costera con espigas

Se desarrolla en el centro – este de la zona de estudio y se encuentra limitada al oeste y al sur por la Llanura alta, al noroeste por la Llanura costera con barreras litorales, al este por el Cordón costero y al norte por la Bahía de Samborombón. Su formación ocurre durante la última regresión marina, en la cual el gran aporte de sedimentos fluviales del sistema deltáico del Plata permitió el desarrollo de crestas de playa desde la paleopunta de Villa Gesell hacia el norte debido a las corrientes litorales. Por detrás de estas espigas se desarrollaron ambientes protegidos de la acción marina directa, formados por sedimentos finos típicos de planicies de mareas (Violante et al., 2001).

Las *Espigas*, conformadas por crestas de playa que alcanzan cotas de entre 2 y 2,5 m, se disponen en una franja norte-sur que se ubica entre la Planicie de mareas y el Cordón costero (ver Fig. 5). Denominada Terraza de acreción marina por López, 2009; corresponde a una serie de sucesivas espigas en gancho que presentan su mayor expresión al sur de la zona. Las diferencias altimétricas entre las crestas de playa y los bajos intercordonales no superan los 0.6 m pero sin embargo son visibles debido al contraste de la vegetación en cada uno de ellos. El sector actual de la espiga se ubica en Punta Rasa. Según Parker, 1979; son arenas pardo amarillentas con abundantes conchillas y gravas y corresponden a la Facies Mar de Ajó de la Fm. Pozo Nº 17. Los humedales se expresan como bañados paralelos que se emplazan en los intercordonales, y se alimentan por precipitación y afloramiento del nivel freático Los suelos presentes son mayoritariamente updisament típicos de la serie El Tuyú, aunque también se encuentran en menor medida hapludoles thaptoárgicos y típicos de las series Santa Teresita y Ostende. Esta unidad se encuentra modificada por los Mantos de arena depositados posteriormente en algunos sectores de la misma y por canales de marea de la Planicie de mareas que se encauzan en los intercordonales y conforman humedales de carácter tanto temporario como permanente.

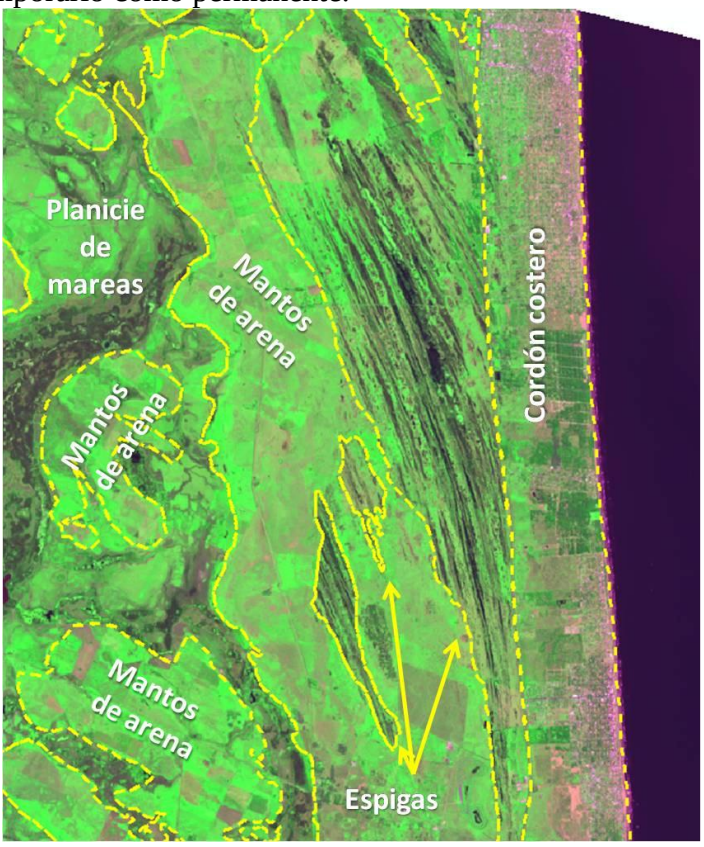


Figura 5. Espigas, Mantos de arena, Planicie de mareas y Cordón costero. Se distinguen claramente las crestas de playa en las espigas y la textura de los mantos de arena.
Imagen: Landsat 8 - OLI, Bandas 4-5-2, 10/01/2014.

El sector de *Bajos y lagunas* se encuentra en el sector sur de esta subunidad y está limitada al sur y oeste por la Llanura alta, al norte por la Planicie de mareas y al este por los Mantos de arena. Se corresponde con el Complejo Lagunar Salada Grande descripto por Dangavs 1983 y es incluido en la Planicie de mareas por Violante et al., 2001. En este trabajo se diferenció de esa unidad debido al patrón de drenaje que conforma un con junto de humedales expresados como lagunas semicirculares a elongadas, de poca profundidad, tanto permanentes como temporarias, que desbordan y se conectan en

presencia de precipitaciones abundantes (ver Fig. 6). A diferencia del resto de la Llanura costera con espigas, la columna estratigráfica de este sector presenta tanto sedimentos pleistocenos (Fm. Gral. Madariaga según Dangavs, 1983; equivalente a la Fm. Pampeano superior) como holocenos (Fm. Pozo nº 17), los cuales comparte con el resto de la llanura costera. Este sector fue el primero que se colmató con la evolución de la espiga de sur a norte y por lo tanto el que primero se desvinculó de la acción de mareas. Por lo tanto, en la etapa final de la evolución de la llanura costera, este sector era el más seco y esto permitió procesos de deflación eólica que modificaron el patrón de los antiguos canales de marea a las lagunas que vemos actualmente y generaron además la formación de las dunas de arcilla conocidas como Lúnulas Resguardo Pesquero, descriptas por Dangavs, 1979. Los suelos presentan dos sectores, uno norte y uno sur. Al sur son pelludertes, mayoritariamente típicos salinos de la serie General Lavalle y en menor medida típicos y típicos ácuicos de las series General Madariaga y General Conesa. Al norte, los suelos mayoritarios son pelludertes típicos de la serie Pinamar, mientras que los secundarios son pelludertes típicos y típicos ácuicos de las series General Madariaga y El Tordillo (GeoINTA, 2014).

La *Planicie de mareas* es la unidad de mayor extensión de la zona de estudio. Se ubica en el centro de la misma, limitada al oeste por la Llanura alta y la Llanura costera con barreras litorales, al norte por la Bahía de Samborombón, al este por la Espiga y los Mantos de arena y al sur por los Bajos y lagunas. En general, su declive es hacia el centro de la cuenca y hacia el norte, con su eje más deprimido ubicado de sur a norte desde la Laguna Salada Grande, con cotas de 2 metros, y hasta la Ría de Ajó, con cotas de 0,7 metros (CFI, 1990). Se divide en dos sectores según el patrón de drenaje, la zona A con una intrincada red de canales de marea meandriformes y la zona B sin canales de marea diferenciables. Además, la zona A se subdivide en A1 con canales de marea de gran desarrollo, A2 con canales de marea paralelos regulados por las crestas de playa y A3 con canales de marea meandriformes paralelos de poco desarrollo (ver Fig. 7). Todos estos canales, constituyen el emplazamiento de humedales de carácter permanente, en muchos casos profundos y con una importante cobertura de plantas hidrófitas arraigadas y en los canales inactivos, también flotantes.

En la *Planicie de mareas A1*, que se ubica en el centro de la región, los canales de marea forman una red entrelazada de cursos meandriformes que convergen hacia la Ría de Ajó al norte. El drenaje es muy lento a impedido, formando cuencas de circulación restringida cubiertas de vegetación acuática (CFI, 1990). Desde la costa y paralela a ella, hasta la altura de General Lavalle, los canales de mareas se encuentran activos, siendo el más importante la Ría de Ajó (denominada así históricamente), cuya actividad mareal se encuentra impedida artificialmente por las compuertas del Canal El Palenque.

La *Planicie de mareas A2* se encuentra en el noreste de la Planicie de mareas e incluye tanto canales de marea activos en el sector norte como inactivos en el sector sur y se genera por la interacción entre la planicie de mareas y las crestas de playa. Los canales de mareas no poseen la energía suficiente para erosionar las crestas, por lo cual son encauzados en los intercordonales, generándose un patrón de drenaje paralelo.

La *Planicie de mareas A3* se ubica en el suroeste de la Planicie de mareas y corresponde a un sector transicional. En ella los canales de marea son continuación de los que se encuentran en A1, pero se ubican de manera paralela entre ellos y presentan mucha menor potencia. Sin embargo, no se observa en las imágenes ningún resalto que pudiera ocasionar esta pérdida de potencia y regularidad, por lo cual es un punto a analizar en futuras salidas al campo.

Los suelos de la Planicie de mareas A se disponen en parches y comprenden pelludertes típicos de la serie General Madariaga y pelludertes típicos salinos de la serie Mal

Abrigo. En el sector A3 se observan también pelludertes típicos ácuidos de la serie el Tordillo y General Conesa y en menor medida nátricos de la serie Estación Segurola que se disponen en los cauces de menor potencia.

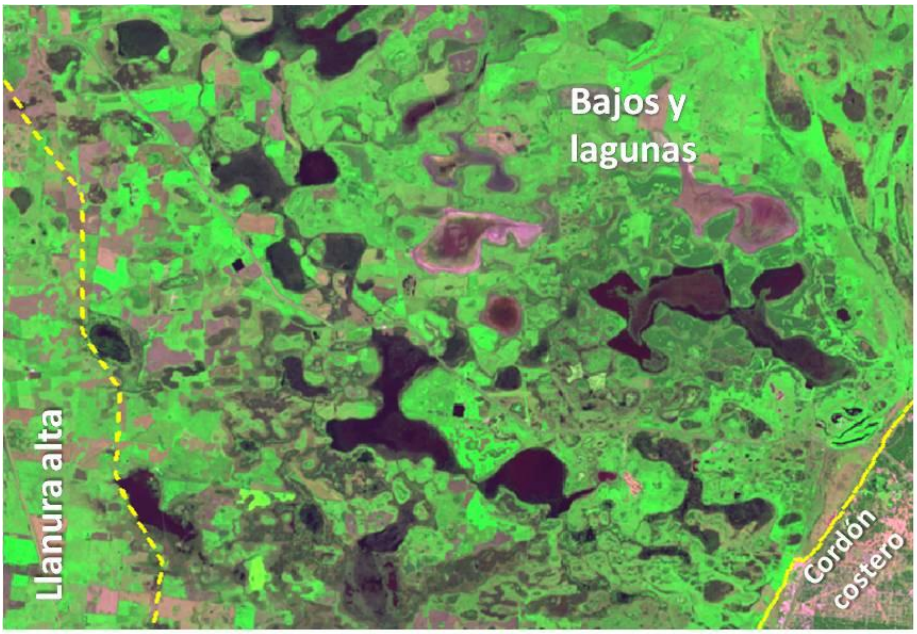


Figura 6. Bajos y lagunas. Lagunas semicirculares a elongadas formadas por la deflación sufrida por los canales de marea inactivos. Imagen: Landsat 8 – OLI, Bandas: 4-5-2, 13/04/2013.

La *Planicie de mareas B* se dispone entre los cordones litorales de la Llanura costera con barreras litorales al oeste, la planicie de mareas A al este y la Bahía de Samborombón al norte, como una franja triangular que se ensancha hacia el sur y paralela a la costa. Está conformada por sedimentos finos típicos de planicie de mareas y se encuentra surcado por pequeños canales de mareas de pequeño porte altamente degradados separados de la dinámica mareal. Conforman humedales que actualmente funcionan como pequeñas cubetas aisladas casi imperceptibles en el terreno. Hacia el sureste, los canales se disponen sobre un patrón paralelo previo, probablemente de carácter eólico. Mientras que Violante et al. 2001 identifican esta unidad como Mb. Las Chilcas de la Fm. Pozo Nº 17, Fucks et al, 2010 la señalan como Mb. Canal 15 de la Fm. Las Escobas. Los suelos de este sector son pelludertes típicos ácuicos de la serie General Conesa. El sector activo de la planicie de mareas vinculado a la acción marina presenta complejos suelos indiferenciados de la serie Bahía Samborombón.

Los **Mantos de arena** se disponen en el sector oriental de la zona, por encima de la Planicie de mareas A y la Espiga (ver Fig. 5). Estratigráficamente se los denomina mantos de arena Ea. La Fe (CFI, 1990), y por ello mantuvimos esa denominación en este trabajo aunque en realidad solo parte de ellos son verdaderos mantos de arena mientras que otros sectores corresponden a campos de dunas degradadas. Fueron descriptos por Parker, 1979, quien los incluye en la Formación Punta Médanos y los divide en dos unidades: Mantos I (mantos de arena) y Médanos II (campos de duna degradados). López, 2009 señala que los mantos presentan morfologías en forma de montículos y rasgos circulares y que las dunas degradadas conforman campos marginales con morfologías subcirculares que se alinean en forma coincidente con las crestas de playa. El drenaje en esta unidad corresponde a los canales de marea meandriformes de la Planicie de mareas A que fueron modificados por la depositación de los Mantos de arena generando una disminución en su potencia, aunque poseen

suficiente energía para erosionarlos probablemente durante períodos lluviosos. Los suelos de esta unidad se presentan en parches e incluyen halpludoles thaptoárgicos de la serie Santa Teresita, udipsament típico de las series Aguas Verdes y El Tuyú, y pelludertes típicos ácuicos de la serie General Conesa.

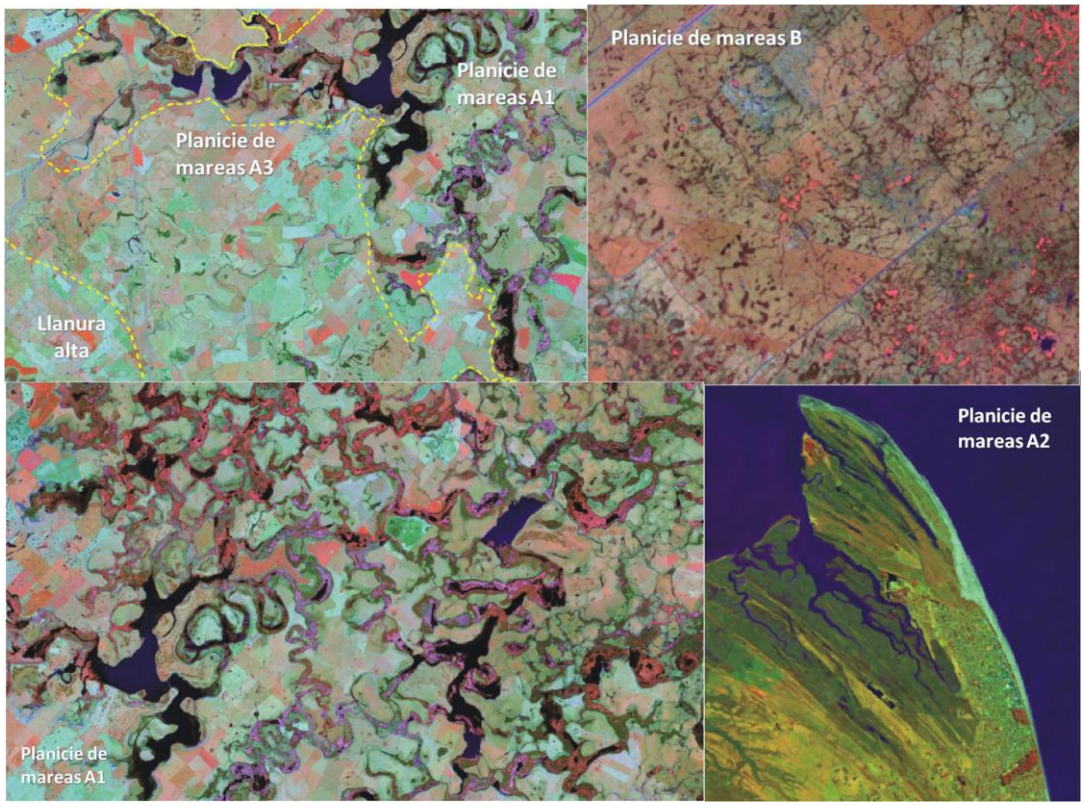


Figura 7. Patrones de drenaje de los diferentes sectores de la Planicie de mareas. A1: Red entrelazada de cursos meandriformes. A2: Canales meandriformes regulados por las crestas de playa. A3: Cursos meandriformes de menor potencia y degradados. B: Pequeñas cubetas aisladas y pequeños canales de mareas degradados. Imágenes: Landsat 8 – OLI, Bandas: 5-6-3, 06/10/2013 y Landsat 8 – OLI, Bandas: 5-6-3, 15/05/2013

Cordón costero

Se ubica en el sector más oriental de la zona de trabajo y es una franja de disposición norte – sur que conforma el límite este de la Llanura costera con Espigas (ver Fig. 5). Al este limita con el Mar Argentino. Se divide en Médanos y Playa según CFI, 1990 o bien Campo de Dunas y Playa según López, 2009; quien describe ampliamente las características de este sector.

Comparación con mapas preexistentes

Los límites de la Llanura costera son coincidentes en todos los mapas consultados y se distinguen claramente en las imágenes y fotografías analizadas.

En la Llanura costera con barreras litorales, todos los mapas revisados coinciden en la ubicación de las mismas, pero no con respecto al límite sureste de la Planicie de mareas interior. El mapa de CFI, 1990 restringe esta unidad a la longitud de las barreras litorales y describe al sur de esta Playas interiores del Mb. Salada Grande que no pudieron ser individualizadas en las imágenes satelitales ni en las fotografías aéreas. Teniendo en cuenta el patrón de drenaje en las imágenes satelitales y la cartografía del IGN, en este trabajo se extiende este límite hacia el sur de manera coincidente con el mapa geomorfológico del Plan Rural Participativo, 2004 y al mapa de suelos de

GeoINTA, 2014, quienes además extienden esta zona hacia la denominada Planicie de mareas B.
En cuanto a la Llanura costera con espigas, las variaciones entre autores son más importantes. CFI, 1990 identifica la espiga como una unidad continua elongada de norte a sur, la planicie de mareas como una única unidad y los mantos de arena; además indica la presencia de dunas de arcilla (conocidas como Lúnulas Resguardo Pesquero) que en su sector sur coincide con Bajos y Lagunas y de cheniers en el noreste que no pudieron ser identificados en las imágenes y fotografías disponibles. El Plan Rural Participativo, 2004 identifica el sector de Bajos y lagunas como Altos en complejo lagunar y señala los mantos de arena como Altos en manto arenoso que se extienden más hacia el oeste que lo indicado por el resto de los autores, hasta la Ría de Ajó. Finalmente, el mapa de suelos de GeoINTA, 2014 es el que mejor se corresponde con las unidades y subunidades que pudieron ser diferenciadas mediante las imágenes satelitales y fotografías aéreas analizadas.

CONCLUSIONES

Las unidades descriptas reflejan los trabajos y enfoques preexistentes sobre los aspcetos geomorfológicos del área estudiada. El resultado constituye una base práctica y conceptual para la identificación del emplazamiento de los diferentes humedales de la zona, condicionando su expresión espacial.
Próximos análisis hidroclimáticos y de la dinámica de inundación del área, permitián entender la vinculación entre las unidades identificadas y los tipos y dinámica de los humedales presentes.

REFERENCIAS

Barros, V.; R. Clarke y P. Silva Dias ed. 2006. *El cambio climático en la cuenca del Plata / Buenos Aires*, CIMA-CONICET 2006.

Benzaquén, L., Blanco, D., Bo, R., Firpo Lacoste, F., Kandus, P., Lingua, G., Minotti, P., Quintana, R. 2008. *Avance sobre la propuesta metodológica para la clasificación e inventario nacional de los humedales de Argentina. Informe Técnico.* http://www.ambiente.gov.ar/archivos/web/GTRA/file/avances%20inventario%20humedales%20mayo%202009(1).pdf

Brinson, M. 1993. *A hydrogeomorphic classification for wetlands*.U.S. Army Corps of Engineers, Technical Report WRP - DE - 4. Washington, DC. http://el.erdc.usace.army.mil/wetlands/pdfs/wrpde4.pdf

Brinson, M. y A.I. Malvárez. 2002. Temperate freshwater wetlands: types, status, and threats. *Environmental Conservation*, 29: 115–133.

CFI, 1990. *Evaluación del Recurso Hídrico Subterráneo de la Región Costera Atlántica Bonaerense. Región I: Punta Rasa – Punta Médanos. Informe final. Tomo II: Geología y Geomorfología.* Consejo Federal de Inversiones. Provincia de Buenos Aires.110p.

Dangavs N., 1979. Presencia de dunas de arcilla fósiles en la pampa deprimida. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 34(1): 31-35.

Dangavs N., 1983. Geología del Complejo Lagunar Salada Grande de General Lavalle y General Madariaga, provincia de Buenos Aires. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 38(2): 161 – 174.

Dirección de Geodesia de la provincia de Buenos Aires, 1985. *Vuelo aerofotogramétrico*. Sector costero Mar de Ajó – Pinamar. Escala 1:20.000, Cámara RC5a, Focal 152mm.

Fucks E., Schnack E. y Aguirre M., 2010. Nuevo ordenamiento estratigráfico de las secuencias marinas del sector continental de la Bahía Samborombón, provincia de Buenos Aires. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 67(1): 27-39.

GeoINTA, 2014. *Suelos de la provincia de Buenos Aires.* Escala 1:50.000. Visor GeoINTA http://geointa.inta.gov.ar/visor/

Hamilton, S. K., 2002. Hydrological controls of ecological structure and function in the Pantanal wetland (Brazil). In: *The ecohydrology of south american rivers and wetlands*. IAHS Special Publication No. 6, Chapter 8, 133 – 158.

INTA, 1967. *Vuelo aerofotogramétrico*. Sector costero Mar de Ajó – Pinamar. Escala 1:20.000, Cámara RC8, Focal 153mm. Realizado por SPARTAN.

Kandus, P; R.D. Quintana; P.G. Minotti; J. Oddi; C. Baigún; G. González Trilla; D. Ceballos. 2011. Ecosistemas de humedal y una perspectiva hidrogeomórfica como marco para la valoración ecológica de sus bienes y servicios. En: *Expansión e intensificación agrícola en Argentina: Valoración de Servicios Ecosistémicos. Conceptos, herramientas y aplicaciones para el ordenamiento territorial.* Eds. Laterra, P.; Jobbággi E. y J. Paruelo. Ediciones INTA. 265-290.

Keddy, P.A. 2000. *Wetland Ecology: Principles and Conservation.* Cambridge University Press, UK

López, R. A., 2009. *Geología y dinámica costera del Cabo San Antonio, provincia de Buenos Aires.* Tesis doctoral, Área Ciencias Geológicas, Universidad de Buenos Aires. 367pp. (Inédita).

Maxa, M. y Bolstad, P. 2009. Mapping Northern wetlands with high resolution satellite images and Lidar. *Wetlands* 29(1):248-260

Malvarez, I. y Bó, R., 2004 (Eds.) *Documentos del Curso Taller "Bases ecológicas para la clasificación e inventario de humedales en Argentina"*.

Minotti, P., Ramonell, C. y Kandus, P. 2013. Regionalización. En Benzaquen, L., Blanco, D., Bo, R., Kandus, P., Lingua, G., Minotti, P, Quintana, R., Sverlij, S. y Vidal, L (Eds.). *Inventario de los Humedales de Argentina: Sistemas de Paisajes de humedales del Corredor Fluvial Paraná- Paraguay.* Secretaria de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación. Proyecto GEF 4206 PNUD ARFG 003/010: 35-90.

Oesterheld; N. Leroy Poff; M.T. Sykes; B.H. Walker; M. Walker and D.H. Wall. 2000. Global biodiversity scenarios for the year 2100. *Science* 287:1770-177

Parker G., 1979. Geología de la planicie costera entre Pinamar y Mar de Ajó, provincia de Buenos Aires. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 34(3): 167 – 183.

Plan Rural Participativo, 2004. *Plan Rural Participativo: Hidráulico, vial, ambiental. General Lavalle 2003 – 2004. Diagnóstico*. 116p.

Salvia M., H. Karszenbaum, P. Kandus and F. Grings. 2009. Datos satelitales ópticos y de radar para el mapeo de ambientes en macrosistemas de humedal. *Revista española de teledetección* (U31): 35-51U.

Semeniuk, V.A and Semeniuk, C.A. 1997. A geomorphic approach to global classification for natural inland wetlands and rationalization of the system used by the Ramsar Convention – a discussion. *Wetlands Ecology and Management.* 5(2): 145-18.

Servicio de Hidrografía Naval, 1964. *Vuelo aerofotogramétrico*. Sector costero Punta Rasa – Punta Médanos. Escala 1:50.000, Cámara Will RC8, Focal 152 mm.

Violante R. A., 1992. Ambientes sedimentarios asociados a un sistema de barrera litoral del Holoceno en la llanura costera al sur de Villa Gesell, Provincia de Buenos Aires. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 47 (2): 201 – 214.

Violante R. A. y Parker G., 2000**.** El Holoceno en las regiones marinas y costeras del noreste de la Provincia de Buenos Aires. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 55(4): 337-351.

Violante R. A., Parker G. y Cavallotto J. L., 2001. Evolución de las llanuras costeras del este bonaerense entre la bahía Samborombón y la laguna Mar Chiquita durante el Holoceno. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 56 (1): 51 – 66.

Zóffoli, L, P Kandus, N Madanes and D Calvo. 2008. Seasonal and interannual analysis of wetlands in South America using NOAA AVHRR-NDVI time series: The case of the Parana Delta Region. *Landscape Ecology*. 23(7): 833-848.

EVALUACIÓN DE LAS ALTERACIONES HIDROGEOMORFOLÓGICAS Y SU RELACIÓN CON LOS EVENTOS DE INUNDACIÓN EN BARRIOS DEL PARTIDO DE BERISSO (ARGENTINA)

Santucci Lucia [a]; Villalba Esteban [a]; Carol Eleonora [a,b]

[a]Cátedra de Hidrología General de la Facultad de Ciencias Naturales y Museo, FCNyM, Universidad Nacional de La Plata. ARGENTINA
[b]Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas, CONICET, ARGENTINA

e-mail: luciasantucci88@yahoo.com.ar

RESUMEN

El sector de planicie costera ubicado en los alrededores del bañado Maldonado fue el más afectado en las inundaciones ocurridas el 2 de abril de 2013 en el partido de La Plata y Berisso. Esta zona presenta características semi rurales y ha experimentado recientemente un fuerte proceso de urbanización. La baja topografía del área, la ausencia de una red de drenaje eficiente para evacuar los excedentes hídricos al Río de la Plata, el nivel freático próximo a la superficie y la presencia de suelos arcillosos, determinan que el área sea fácilmente anegable en periodos lluviosos. Estas características hacen que el desarrollo urbano requiera de distintas obras de ingeniería (canalizaciones, terraplenados, etc.) que alteran la hidrología y el ambiente del bañado. El objetivo del trabajo es efectuar una evaluación de las alteraciones hidrogeomorfológicas realizadas por las urbanizaciones en el Bañado Maldonado (Partido de Berisso, Buenos Aires) y ver cómo estas condicionan el desarrollo de áreas anegables. Para ello se realizó una caracterización hidrogeomorfológica del área e identificación de las zonas urbanizadas a partir del análisis de cartas topográficas, fotografías aéreas, imágenes satelitales y relevamientos de campo. Una evaluación de las áreas anegadas en eventos lluviosos se efectuó a partir de imágenes satelitales que fueron capturadas pocos días después de los eventos extraordinarios de precipitaciones. Los resultados obtenidos permiten identificar cómo las urbanizaciones modifican el escurrimiento y acumulación de agua superficial en el bañado y también determinar áreas urbanas con mayor riesgo de inundación. La falta de datos hidrológicos representa una importante limitación en la gestión del agua, razón por la cual el trabajo realizado constituye una base para generar pautas de manejo hidrológico y territorial del área.

INTRODUCCIÓN

La planicie costera está ubicada en el noreste de la provincia de Buenos Aires sobre la margen derecha del Río de la Plata (ver Fig. 1). En el tramo medio del río, abarca una franja paralela a la costa actual de unos 160 km de longitud y un ancho de 2,5 a 9 km. Está formada por sedimentos originados en un ambiente marino-fluvial Holoceno y limita hacia el interior con la llanura continental constituida por sedimentos loéssicos de edad Pleistocena.

Es un ambiente de escasa topografía y con un bajo gradiente hídrico que limita el flujo superficial, dificultando la descarga de las aguas provenientes de la llanura continental hasta el Río de la Plata. La presencia de cordones o albardones costeros de arena o conchilla, dispuestos paralelamente a la línea de ribera, constituyen a su vez barreras al escurrimiento superficial. Asimismo, es un ámbito de descarga parcial del sistema subterráneo, con presencia de suelos mal drenados (Kruse et al., 2014a).

El conjunto de características hidrológicas, geológicas y geomorfológicas descriptas determinan que el desarrollo urbano requiera de distintas obras de ingeniería para ayudar al drenaje y evitar anegamientos (canalizaciones, terraplenados, relleno, etc.) que alteran la hidrología y el ambiente de la planicie. En el sector de planicie costera ubicado en el Partido de Berisso se desarrolla el bañado Maldonado (Fig. 1) que es un área semi rural que ha experimentado recientemente un fuerte proceso de urbanización. Los mayores problemas naturales a los que está sometida la población corresponden a las inundaciones desde el Río de la Plata (sudestadas) y a los anegamientos generados por las precipitaciones y desbordes de cursos y canales, provenientes del sector continental (Pousa et al., 2011).
El clima es templado – húmedo, con una precipitación media de 1.079 mm/año y una temperatura media anual de 15,7 ºC. Las lluvias extremas registradas el 2 de abril de 2013 en esta zona alcanzaron un valor acumulado de 392,2 mm, el cual fue el récord de la serie histórica 1909-2013 de la estación del Observatorio (Kruse et al., 2014b). La magnitud de la lluvia caída generó la inundación de las áreas más deprimidas asociadas a cauces fluviales y planicie costera las cuales en gran parte se encuentran enmascaradas por el desarrollo urbano. El bañado Maldonado fue el más afectado en dichas inundaciones, donde gran parte de los habitantes tuvieron que ser evacuados.
El objetivo del trabajo es efectuar una evaluación de las alteraciones hidrogeomorfológicas realizadas por las urbanizaciones en el bañado Maldonado y ver cómo estas condicionan el desarrollo de áreas anegables.

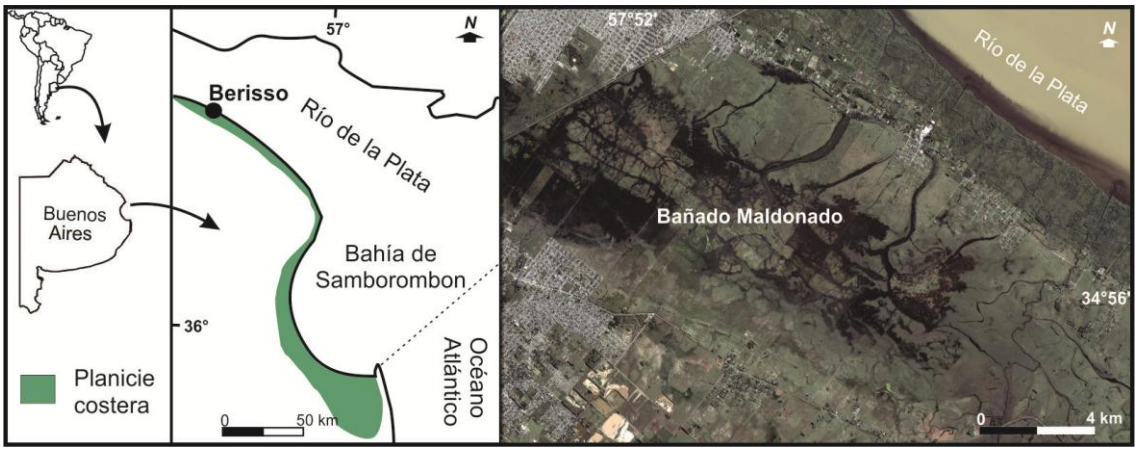


Figura 1: Ubicación del área de de planicie costera del Río de la Plata y del bañado Maldonado.

MÉTODOS

Una caracterización hidrogeomorfológica del área e identificación de las zonas urbanizadas se realizó a partir del análisis de cartas topográficas, fotografías aéreas, imágenes satelitales y relevamientos de campo. La carta topográfica a escala 1:50.000 se utilizó para identificar las áreas deprimidas y el drenaje. El crecimiento poblacional del área y las alteraciones morfológicas asociadas se determinó a partir del análisis de fotografías aéreas del año 1963 e imágenes satelitales de 2004 y 2013.
Una evaluación de las áreas anegadas en eventos lluviosos se efectuó a partir de imágenes satelitales que fueron capturadas pocos días después de los eventos

extraordinarios de precipitaciones ocurridos el 2 de abril de 2013 (imagen ASTER del 5 de abril y QuickBird del 8 de abril).

RESULTADOS

Dentro de la planicie costera el bañado Maldonado constituye un área deprimida con cotas por debajo de 2,5 m snm en donde se reconocen algunos sectores elevados con alturas superiores a los 3 m snm en la parte central. El área se caracteriza por la presencia de un sistema de antiguos canales de marea, relicto de la transgresión holocena, que posteriormente se desactivaron por los depósitos de cordones de conchilla y sedimentos aluviales que actualmente se desarrollan en la zona litoral. A este sistema de antiguos canales se suman cursos de carácter transitorio y permanente los cuales drenan hacia el Río de la Plata por medio de canalizaciones.
En la imagen ASTER capturada tres días después de los eventos extraordinarios de precipitaciones ocurridos el 2 de abril de 2013 puede observarse el anegamiento de la zona deprimida del bañado y la reactivación de los antiguos canales de marea (ver Fig. 2). A pesar de que el área tiene un drenaje deficiente, en la imagen del 8 de abril puede observarse una notoria disminución del área inundada principalmente en el sector sudeste del bañado (ver Fig. 2). Pese a la problemática hidrológica del bañado el sector noreste ha presentado en los últimos años un crecimiento poblacional reconociéndose en la zona de estudio cuatro áreas urbanizadas (ver Fig. 2). Las mismas si bien no se ubican en la parte central deprimida del bañado ocupan en parte antiguos canales de marea, los cuales aunque permanecen gran parte del año sin agua en superficie, son áreas naturalmente anegables en eventos lluviosos tal como se observa en la figura 2.

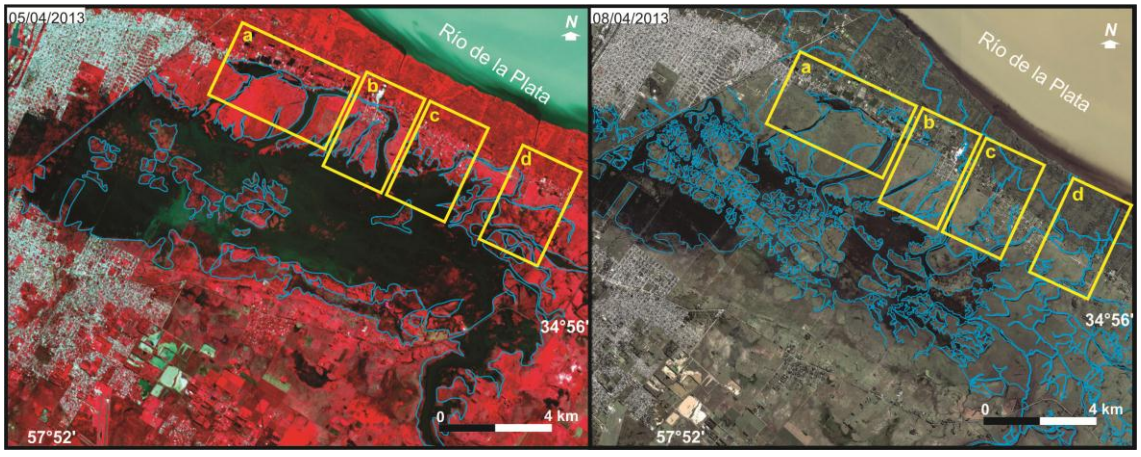


Figura 2: Drenaje de antiguos canales de marea y áreas anegadas del bañado en la imagen ASTER del 5 de abril de 2013 (izquierda) y en la imagen QuickBird del 8 de abril de 2013 (derecha). En (a, b, c y d) se indican los barrios estudiados.

Las fotografías aéreas de 1963 muestran en las cuatro urbanizaciones estudiadas que prácticamente no existen construcciones de viviendas, no obstante sí puede reconocerse la existencia de loteos. En el área indicada como *a* (ver Fig. 2 y 3) los loteos y zonas construidas se limitan al borde norte del bañado donde se reconocen dos antiguos canales de marea. El crecimiento poblacional de esta zona es bajo, identificándose para 2004 unos 327.322 m^2 loteados de los cuales sólo aproximadamente un 22% estaba edificado, mientras que para 2013 las edificaciones aumentan en un 54%. En la imagen

capturada días después del evento de tormenta extraordinario (05/04/13) se observa que los antiguos canales de marea se reactivan formando zonas anegadas que tienden a descargar hacia el albardón afectando gran parte de las zonas urbanas. Cabe destacar que dentro del bañado, estos canales son unos de los que presentan un drenaje más deficiente, ya que en la imagen del 08/04/13 mantienen gran parte del agua acumulada en superficie (ver Fig. 2).

En el área *b* (ver Fig. 2 y 3) los loteos y viviendas también se limitan al borde norte del bañado, específicamente en el borde izquierdo de un antiguo canal de marea donde se desarrolla la Cañada Bellaca. Para el año 2004 se identificó un área loteada de 1.135.111 m^2 de los cuales un 13% estaba edificado, mientras que para 2013 las viviendas aumentan en un 63%. Para el 05/04/13 en la imagen se aprecia el anegamiento de la cañada y canal de marea asociados los que son drenados casi totalmente en la imagen 08/04/13 (ver Fig. 2).

En la zona *c* del área de estudio (Fig. 2 y 3) puede observarse cómo el antiguo canal de marea de orientación suroeste a noreste tiene en ambos márgenes nuevas construcciones urbanas en la imagen del año 2013 respecto del 2004. Este incremento constituye un 134,7% el cual está asociado a una superficie loteada de aproximadamente 2.307.005 m^2. En la imagen ASTER (ver Fig. 3) capturada tres días después de la inundación se verifica el desborde del cauce del canal y la reactivación de algunos de sus tributarios, así como también el bañado Maldonado amplía su área anegada hasta alcanzar los loteos y edificaciones que se encuentran en el sur de la urbanización. Posteriormente, en la imagen tomada seis días después del evento extremo de lluvias (ver Fig. 3) se aprecia que el exceso hídrico superficial desagotó totalmente.

En el área *d* (ver Fig. 2 y 3) los loteos y edificaciones se ubican en el borde noreste del bañado y el barrio está limitado hacia el oeste por el arroyo el Pescado. Para el año 2004 se han identificado loteos con un total de 2.259.810 m^2 de los cuales sólo un 2% estaba urbanizado, siendo el crecimiento poblacional para el año 2013 de un 61%. La imagen del 05/04/13 muestra que la zona ha sido inundada, observándose el anegamiento de varios canales de marea, que en la imagen del 08/04/13 muestran una notoria disminución del agua acumulada en superficie.

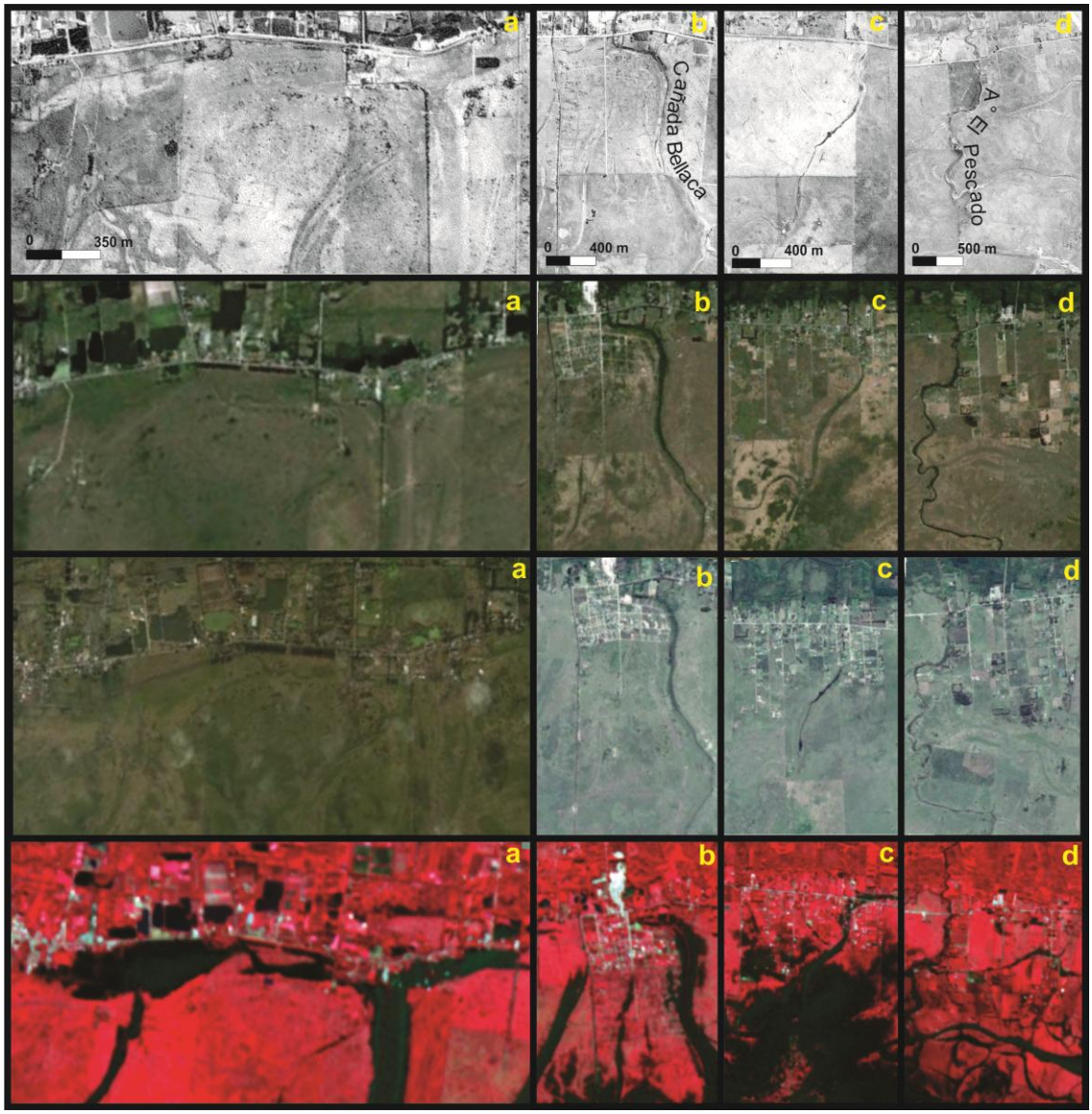


Figura 3: Comparación de las áreas urbanas estudiadas. De arriba hacia abajo: mosaico aerofotogrametrico de 1963, imagen QuickBird de 2004, imagen QuickBird del 8 de abril de 2013 e imagen ASTER del 5 de abril de 2013.

Las observaciones de campo permitieron reconocer las morfologías de antiguos canales de marea que atraviesan las zonas urbanas. En la figura 4 se indican algunos ejemplos de estas morfologías así como también las modificaciones asociadas a rellenos y canalizaciones efectuadas para poder construir en estas áreas del bañado naturalmente anegables.



Figura 4: Barrios emplazados en zonas de antiguos canales de marea

DISCUSIÓN

Las planicies costeras son ambientes hidrológicos sensibles que han sido en muchas regiones del mundo fuertemente modificados por la acción antrópica (Portnoy y Giblin, 1997, Teal y Weinstein, 2002, Doody 2004, Weishar et al., 2005, Meire et al., 2005, Beauchard et al., 2011). Estudios realizados en distintos sectores de la planicie costera del Río de la Plata evidencian cómo las actividades antrópicas han alterado el comportamiento hidrológico natural de este sistema y modificado sus características ambientales. En el Río de la Plata superior el desarrollo urbanístico modificó la geomorfología y geohidrología de la planicie costera a partir de la elevación en la cota del terreno, la creación de lagunas artificiales y la alteración de la línea de costa producto de la construcción de muelles, amarraderos y vías de acceso náuticas (Melo et al., 2012). En el tramo medio del río, en los alrededores del Partido de La Plata, la explotación intensiva del agua subterránea ocasionó alteraciones en los flujos subterráneos regionales y locales que aportan agua al humedal de la planicie costera (Carol et al., 2013a). En el sector inferior del río, en el litoral de Bahía de Samborombón, la actividad minera deterioró no sólo la geomorfología sino también gran parte de las reservas de agua dulce (Tejada et al., 2011, Carol y Kruse 2012, Carol et al., 2013b, Carol et al., 2014). En este sector, las canalizaciones, rutas y terraplenes constituyen también afectaciones antrópicas al sistema hidrológico que condicionan la hidrodinámica de la planicie costera (Carol et al., 2012, Carol et al., 2013c, Carol et al., 2014).

El bañado de Maldonado es un área naturalmente anegable, donde antiguas geoformas tales como canales de mareas constituyen áreas deprimidas carentes de drenaje fácilmente anegables durante eventos lluviosos. Los resultados preliminares obtenidos en este trabajo muestras que al igual que en los otros sectores de la planicie costera del Río de la Plata, el desarrollo urbano tiende a modificar las características hidrogeomorfológicas de la planicie. Las canalizaciones y rellenos realizados para mejorar el drenaje y levantar la cota del bañado para evitar las inundaciones resultan insuficientes, observándose que pese a esto el sistema de antiguos canales de mareas tiende a reactivarse constituyendo vías de drenaje propensas a anegarse.

CONCLUSIONES

El análisis de imágenes satelitales seriadas apoyado en relevamientos de campo permitió identificar las características hidrogeomorfológicas del bañado y las modificaciones asociadas al crecimiento población. Para 1963 las áreas urbanas estudiadas si bien estaban loteadas las construcciones eran escasas. En la última década (comparando imágenes de 2004 y 2013) se evidencia una ampliación de las zonas loteadas y un importante crecimiento poblacional registrándose en los barrios estudiados porcentajes estimados que varían entre el 54 y 135 %. Los loteos de sectores deprimidos o con presencia de antiguos canales de marea hacen que las construcciones requieran del relleno y elevación de la cota natural del terreno, alterando así la pendiente hídrica del área.

El conjunto de urbanizaciones y obras de relleno asociadas modifican el escurrimiento y acumulación de agua superficial en el bañado. Asimismo, la presencia de paleoformas tales como canales de marea que funcionan como áreas de drenaje en eventos de tormenta determina la existencia de zonas urbanas con mayor riesgo de inundación.

La falta de datos hidrológicos representa una importante limitación en la gestión del agua, razón por la cual el trabajo realizado constituye una base para generar pautas de manejo hidrológico y territorial del área.

REFERENCIAS

Beauchard O, Jacobs S, Cox T, Maris T, Vrebos D, Van Braeckel A, Meire P. 2011. A new technique for tidal habitat restoration: Evaluation of its hydrological potentials. *Ecological Engineering* **37**, 1849– 1858.

Carol, E., Kruse, E., Pousa, J. 2008. Environmental hydrogeology of the southern sector of the Samborombon bay wetland, Argentina. *Environmental Geology* **54**, 95-102.

Carol, E., Kruse, E., Mas Pla, J. 2009. Hydrochemical and isotopical evidence of ground water salinization processes on the coastal plain of Samborombón Bay, Argentina. *Journal of Hydrology* **365**, 335-345.

Carol, E., Kruse, E., Pousa, J. 2011. Influence of the geologic and geomorphologic characteristics and of crab burrows on the interrelation between surface water and groundwater in an estuarine coastal wetland. *Journal of Hydrology*, **403**, 234 – 241.

Carol, E., Dragani, W., Kruse, E., Pousa, J. 2012. Surface water and groundwater characteristics in the wetlands of the Ajó River (Argentina). *Continental Shelf Research* **49**, 25-33.

Carol, E., Kruse, E. 2012. Hydrochemical characterization of the water resources in the coastal environments of the outer Río de la Plata estuary, Argentina. *Journal of South American Earth Sciences* **37**, 113 - 121.

Carol, E., Kruse, E., Mancuso M., Melo M. 2013a. Local and regional water flow quantification in groundwater-dependent wetlands. *Water Resources Management* **34**, 26-32. DOI: 10.1007/s11269-012-0216-9.

Carol, E., Mas Pla, J., Kruse, E. 2013b. Interaction between continental and estuarine waters in the wetlands of the northern coastal plain of Samborombón Bay, Argentina. *Applied Geochemistry* **34**, 152 – 163

Carol E., Kruse E., Tejada M., 2013c. Surface water and groundwater response to the tide in coastal wetlands: Assessment of a marsh in the outer Río de la Plata estuary, Argentina. *Journal of Coastal Research* **65**, 1098 - 1103.

Carol, E., Braga, F., Kruse, E., Tosi, L. 2014. A retrospective assessment of the hydrological conditions of the Samborombón coastland (Argentina). *Ecological Engineering* **67**, 223-237

Doody, P., 2004. 'Coastal squeeze' – an historical perspective. J. Coast. Conserv. 10, 129–138.

Kruse, E., Sarandón, R. y F. Gaspari. 2014a. *Impacto del cambio climático en el Gran La Plata*. PIIT AP Universidad Nacional de La Plata: Kruse, Sarandón y Gaspari compiladores. Editorial Universidad Nacional de La Plata

Kruse E., Braga F., Tosi L., Carol E., Laurencena P., Deluchi M. 2014b. Respuesta hidrológica de la planicie costera en la región de La Plata: eventos extremos de abril de 2013. En: 2° Congreso Internacional de Hidrología de Llanuras. Trabajo extendido en CD. ISBN: 978-987-692-039-1.

Meire, P., Ysebaert, T., Van Damme, S., Van den Bergh, E., Maris, T., Struyf, E., 2005. The Scheldt estuary: a description of a changing ecosystem. *Hydrobiologia* **540**, 1–11.

Melo, M., Carol E., Kruse E. 2012. Cambios geomorfológicos en la planicie costera del Río de la Plata Superior: implicancia en la relación agua superficial - agua subterránea. Libro de actas del V Congreso Argentino de Cuaternario y Geomorfología, 187 – 194.

Portnoy J.W., Giblin A.E. 1997. Effects of historic tidal restrictions on salt marsh sediment chemistry. *Biogeochemistry* **36**, 275–303.

Pousa J, Kruse E, Carol E, Carretero S, Guaraglia D., 2011. Interrelation between Coastal Processes, Surface Water and Groundwater at the Outer Coastal Region of the Rio de la Plata Estuary, Argentina. *Advances in Environmental Research*. Nova Science Publishers. **10**, 67–96.

Teal J. M., Weinstein M. P. 2002. Ecological engineering, design, and construction considerations for marsh restorations in Delaware Bay, USA. *Ecological Engineering* **18**, 607–618.

Tejada M, Carol E, Kruse E. 2011. Límites y potencialidades de las reservas de agua dulce en el humedal de la Bahía de Samborombón, Argentina. *Revista de Geología Aplicada a la Ingeniería y al Ambiente* **27**, 52 - 56.

Weishar L.L., Teal J.M, Hinkle R. 2005. Designing large-scale wetland restoration for Delaware Bay. *Ecological Engineering* **25**, 231–239.

LOS DISTINTOS AMBIENTES DE LA CUENCA DEL RÍO TECKA – GUALJAINA, CHUBUT, ARGENTINA

Torrero M. P.[a]

[a]*Equipo Interdisciplinario para el Estudio de Procesos Atmosféricos en el Cambio Global, PEPACG, Facultad de Ingeniería, Pontificia Universidad Católica "Santa María de los Buenos Aires", ARGENTINA*

E-mail: mptorrero@gmail.com

RESUMEN

La cuenca del Río Tecka – Gualjaina se localiza al Noroeste de la provincia de Chubut, Argentina y desarrolla una superficie de 5.318 km^2. El clima es árido y frío, las precipitaciones no superan los 200 mm anuales y la temperatura media anual es de 10 °C. El régimen del río es del tipo nivo-pluvial. La vegetación predominante es de estepa subarbustiva graminosa. El objetivo del trabajo es identificar y caracterizar los distintos ambientes que se desarrollan en la cuenca. Se delimitaron las principales subcuencas y mediante el análisis bibliográfico, cartográfico, observación de imágenes satelitales y el trabajo de campo se realizó una caracterización de las principales condiciones ambientales de la cuenca. Este medio rural, conocido como el oasis de la estepa patagónica presenta marcadas diferencias ambientales, asociadas principalmente a la presencia o ausencia de cursos de agua, situación que se desarrolla a tan solo pocos metros de distancia. Sin embargo, la escasa ocupación efectiva del territorio por falta, ausencia o cambios en las políticas económicas contribuyeron a acentuar el desequilibrio territorial y por consiguiente, en muchos casos, a reflejar esta situación en el paisaje. Las condiciones del medio físico más la presencia del hombre en menor o mayor grado, dan origen a la formación y desarrollo de distintos espacios con características ambientales singulares.

Palabras Clave: *Cursos de agua, Ambiente, Paisaje, Desequilibrio.*

INTRODUCCIÓN

El Río Tecka nace en las sierras occidentales de la provincia de Chubut, Argentina, a 1.350 msnm, a los 43°35'18 Lat. S y 71°21'03 Long. O. Fluye inicialmente en sentido O – E durante unos 45 km, para luego tomar rumbo S – N hasta su desembocadura en el Río Chubut. En la afluencia del Arroyo Pescado, 43°02'22'' Lat. S; 70°47'23'' Long. O, el Río Tecka toma el nombre de Río Gualjaina; entre ambos poseen una longitud de 206 km. Estos ríos, dan nombre a la cuenca Tecka – Gualjaina de 5.318 km^2 que forma parte de la cuenca exorreica de vertiente atlántica del Río Chubut (ver Fig. 1). Los puntos más altos son el de 2.210 m en la cuenca baja, al NO, en el Cordón de Esquel y el de 1.988 m en la cuenca alta, al Oeste, en el Cerro Cuche que forma parte del Cordón Kakel. Al SE, se localizan los Cerros Montgomery (1.655 m) y Mogote (1.611 m) y al E, en la Sierra de Tecka, el Cerro Araneda (1.448 m) (ver Fig. 2).

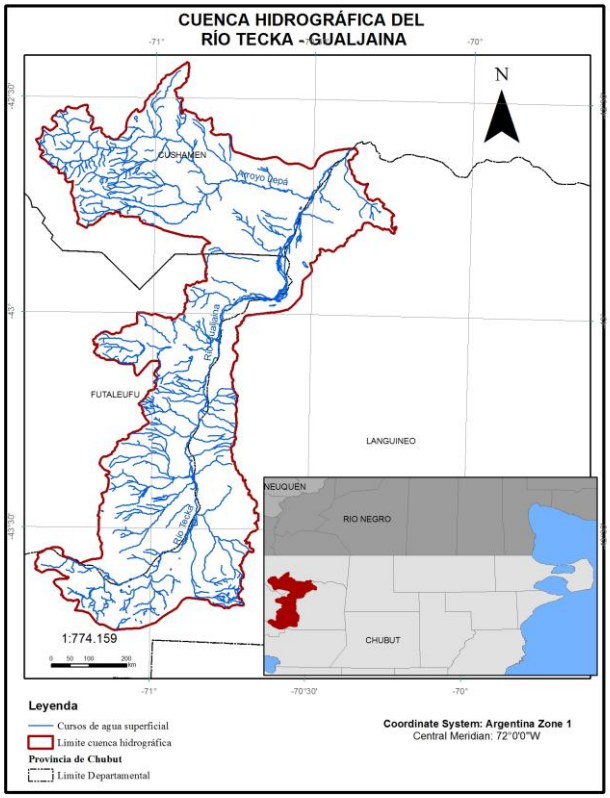


Figura 1. Cuenca del Río Tecka – Gualjaina, Chubut, Argentina.

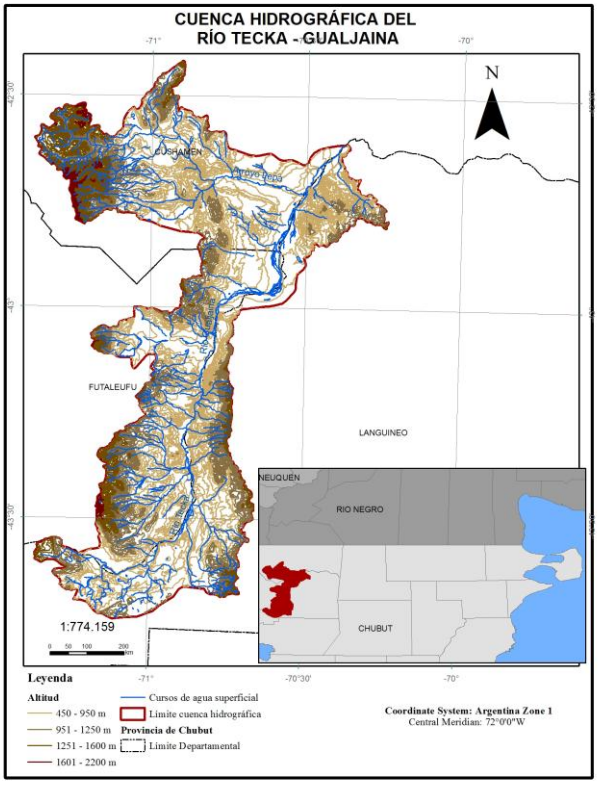


Figura 2. Topografía de la Cuenca del Río Tecka – Gualjaina, Chubut, Argentina.

El clima de la región es árido y frío, las precipitaciones, concentradas en invierno, no superan los 200 mm anuales y la temperatura media anual es de 10ºC. El período 1993-

2008 presentó condiciones de aridez y déficit hídrico con un tipo climático árido mesotérmico o estepa y un régimen del río del tipo nivo-pluvial (Torrero y Noseda, 2010). El valle se caracteriza por una llanura aluvial con áreas cóncavas, inundables y terrazas bajas (Beeskow et al., 1987). Los suelos predominantes son Aridisoles Calciortides, Natrargides, Paleoargides y Paleortides; Inceptisoles Distrandeptes y Molisoles Criacuoles, Haploboroles y Haploxeroles (INTA, 1995) (ver Fig. 3). El área se caracteriza por el desarrollo de mallines, de gran importancia ecológica y potencial productivo, los cuales se encuentran degradados o destruidos como consecuencia de procesos naturales o por la intervención antropogénica. La vegetación predominante es de estepa subarbustiva-graminosa (INTA, 2002).

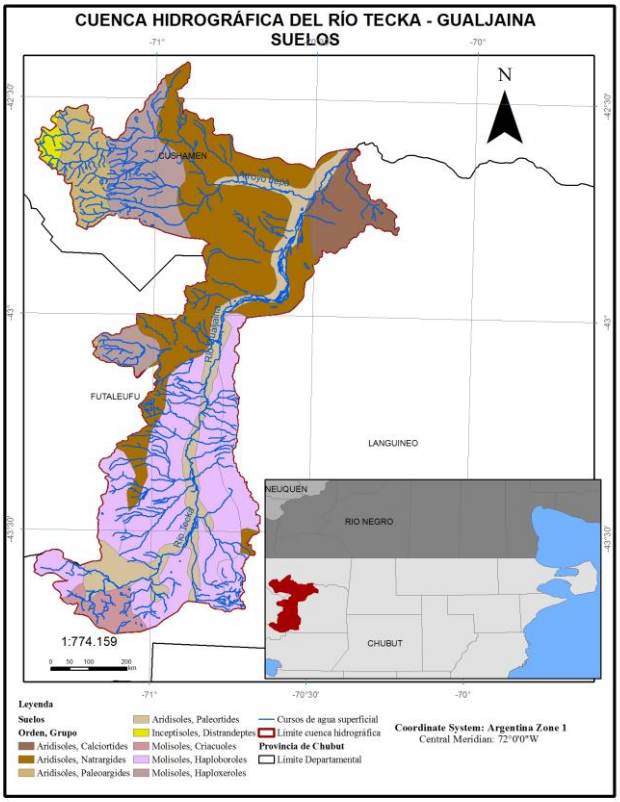


Figura 3. Tipos de suelos de la Cuenca del Río Tecka – Gualjaina, Chubut, Argentina, elaborado sobre la base del mapa de suelos del INTA (1995).

El curso del río divide los departamentos chubutenses de Languiñeo, al Este, y de Futaleufú y Cushamen, al Oeste. Estos dos últimos limitados entre sí por el paralelo de los 42°52’ Lat S. A nivel antrópico, se destaca la presencia de la ciudad de Tecka, cabecera del departamento Languiñeo, y del poblado de Gualjaina, a orillas del Arroyo Lepá, principal afluente del Río Gualjaina. Tecka, cuya principal actividad es ganadera y en menor medida se realiza el cultivo sobre las planicies de inundación, lo atraviesa la Ruta Nacional N°40, la cual cruza el río del mismo nombre y acompaña su curso hasta su confluencia con el Arroyo Pescado. La Ruta Nacional N°25, por su parte, corre por el valle del Arroyo Pescado y cruza el Río Tecka – Gualjaina para luego tomar rumbo SE. A lo largo de su recorrido, el río atraviesa distintas áreas moldeadas a través del tiempo por numerosos procesos geológicos y morfogenéticos. El objetivo del trabajo es identificar y caracterizar los distintos ambientes que se desarrollan en la cuenca.

MATERIALES Y MÉTODOS

Planteo del Problema

En la República Argentina y particularmente en la región Patagónica, la información físico-ambiental entre otras, es escasa o inexistente. En tal sentido y a fin de poder evaluar el impacto ambiental y socioeconómico como consecuencia de los cambios climáticos y de las intervenciones antropogénicas, es necesario el conocimiento del estado actual de los sistemas geofísicos, ambientales, sociales y económicos.

Procesos de agriculturización, explotación de recursos hídricos, desertificación, deforestación, contaminación, características de los asentamientos humanos, etc., deben ser evaluados junto con parámetros ambientales y geofísicos, locales, regionales y globales. Por ello, y con el objeto de estimar el impacto en el ambiente de los procesos mencionados y sus efectos sobre el desarrollo económico y social regional futuro, es necesario conocer los recursos naturales. En tal sentido, este trabajo forma parte del estudio integral de la cuenca del Río Tecka – Gualjaina, en la provincia de Chubut. Los resultados obtenidos contribuirán al conocimiento del funcionamiento ambiental de este espacio.

Metodología

El procesamiento de los datos se realizó con el programa ArcGis 9.3.1 (ESRI). La información se obtuvo de las cartas topográficas elaboradas y editadas por el Instituto Geográfico Militar (IGM, 1980-1981): Piedra Parada, 4369-7; Paraje La Horqueta, 4369-13; Cholila, 4372-11; Fofó Cahuel, 4372-12; Esquel, 4372-17; Gualjaina, 4372-18; Trevelín, 4372-23; Arroyo Pescado, 4372-24; Corcovado, 4372-29; Tecka, 4372-30; Cerro Caballada 4372-35; Putrachoique, 4372-36. La cartografía que se utilizó fueron cartas topográficas a escala 1:100.000, por ser el tipo de documento cartográfico a mayor escala que abarcaba toda el área de esta cuenca hidrográfica. Se georreferenciaron las cartas topográficas, se digitalizaron las curvas de nivel y cursos de agua.

Para la delimitación de la cuenca de drenaje y subcuencas, se identificó la divisoria de aguas de siguiendo la dirección de las pendientes de acuerdo con las curvas de nivel (Heras, 1983). Para la caracterización morfológica se obtuvieron el área o superficie de la cuenca, el perímetro, el relieve disponible y la longitud del río. Se calcularon también, el factor de forma y el radio de elongación. Para obtener la forma del contorno de la cuenca, se calculó el índice de compacidad o de Gravelius y coeficiente de redondez. Para determinar la forma de la cuenca se utilizaron los siguientes índices: el relieve disponible, ΔH, la diferencia de altura entre el punto más alto (H_x) y más bajo de la cuenca (H_y); el de forma, R_f, cociente entre la superficie de la cuenca y el cuadrado de su longitud máxima (Horton, 1932 y 1945), $R_f = A / L^2_m$ .En función de lo propuesto por Jardí (1985) y a fin de analizar el comportamiento hidrológico de la cuenca, se decidió obtener como valor de L_m, la longitud máxima entre los puntos extremos de la cuenca siguiendo el cauce del río principal. El radio o relación de elongación, R_e, definido por Schumm como la relación entre el diámetro de un círculo de igual superficie que la cuenca y la longitud máxima de la misma (L). El diámetro se expresa en función del área de la cuenca (A) como (Llamas, 1993): $R_e = 1{,}128 \sqrt{A/L}$, valores inferiores a 1 indican que la cuenca tiene forma alargada, cuánto menor sea R_e más alargada será la forma (Jardí, 1985). El coeficiente de redondez, K, relaciona el área de la cuenca, A, con su longitud, L, tomando como referencia el diámetro de un círculo. Para cuencas perfectamente circulares K, toma un valor igual a la unidad y

cuanto más elongada sea la cuenca, mayor será el valor de K. Esta variable fue introducida por Seyhan en 1977 (Jardí, 1985), $K = \pi L^2 / 4 A$. El índice o coeficiente de compacidad o de Gravelius (Gravelius, 1985), Kc, es la relación entre el perímetro de la cuenca y la circunferencia de un círculo de igual superficie que la cuenca. Llamas (1993) define la siguiente expresión: $Kc = 0{,}28 * (P / \sqrt{A})$, donde P y A son el perímetro y la superficie de la cuenca, respectivamente. El coeficiente será igual a la unidad en cuencas perfectamente circulares pudiendo alcanzar valores próximos a 3 en cuencas muy alargadas.

Asimismo, se determinaron el tiempo de concentración y la pendiente media del cauce principal y por último, el índice de sinuosidad topográfica. El tiempo de concentración, Tc, es el tiempo que tarda en llegar, a la sección de salida de la cuenca, la escorrentía producida en la zona más alejada de dicha sección. Depende del espacio recorrido (longitud y forma de la cuenca) y de la velocidad de las escorrentías (altura de la escorrentía, pendiente de la cuenca y del cauce principal, rugosidad de la superficie). La fórmula más frecuentemente utilizada es la de Kirpich (1940) $Tc = [(0{,}871\ L^3) / (H - h)]^{0{,}385}$. En función de las características de la cuenca objeto de esta investigación y como resultado de los estudios y evaluaciones del área ya efectuadas, se decidió aplicar la fórmula propuesta por Hathaway-Kerby [Hathaway, 1945; Kerby, 1959) que considera las características superficiales del terreno (Tabla I), $Tc = (0{,}606\ (Ln)^{0{,}467}) / S^{0{,}234}$, donde, Tc, es tiempo de concentración en horas, L, la longitud del cauce principal hasta la divisoria, S, la pendiente media del cauce principal y n, la rugosidad en función de la vegetación.

Tabla I. Valor asignado a la rugosidad del terreno en función de la vegetación (Hathaway, 1945).

Tipo de superficie	Valor de n
Suelo liso impermeable	0,02
Suelo desnudo	0,10
Pastos pobres, cultivos en hileras o suelo desnudo algo rugoso	0,20
Pastizales	0,40
Bosque de frondosas	0,60
Bosque de coníferas, o de frondosas con una capa densa de residuos orgánicos o de césped	0,80

La pendiente media del cauce principal (Pm_r), es uno de los indicadores más importantes en el análisis hidrográfico empleado para determinar el grado de respuesta de una cuenca a una tormenta determinada. Dado que la pendiente varía a lo largo del cauce, se definió como tal, al desnivel entre los puntos extremos de la corriente principal dividido su longitud. El orden de magnitud se obtuvo de acuerdo con la tabla II. Siendo, $Pm_r = (H_M - H_m) / (1000 * L_r)$, donde, H_M y H_m son las alturas máxima y mínima, en metros, respectivamente y L_r, la longitud del río principal, en kilómetros.

Tabla II. Magnitud de la pendiente media del río principal.

Pendiente media (%)	Terreno
< 1	Llano
1 − 5	Suave
5 − 8	Moderado
8 − 15	Fuerte
> 15	Escarpado

El índice de sinuosidad topográfica o coeficiente de sinuosidad, S_t, fue enunciado por Schumm (1963) para reflejar el trazado del cauce como el cociente entre la longitud del valle, L_v y la del eje del río, L_e. Valores próximos a 1 indican que el cauce tiende a ser rectilíneo y valores superiores a 2 tienden a ser tortuosos, los resultados intermedios indican formas transicionales regulares o irregulares (Schumm, 1963). Pedraza Gilsanz (1996) denomina rectilínos y meandrosos a los cauces con índices de sinuosidad menores o superiores a 1,5 respectivamente. Las longitudes empleadas en el cálculo son proyecciones de los valores reales sobre un plano horizontal. Para calcular las dimensiones reales hay que dividir esos valores por el coseno del ángulo que forma el eje del río con la horizontal (Llamas 1993). Siendo, $S_t = L_v / L_e$.

En el mes de enero de 2014 se realizó una campaña al área de estudio que pemitió, junto al apoyo del material bibliográfico, cartográfico y observación de imágenes satelitales, caracterizar las principales condiciones ambientales y la situación actual de la cuenca del Río Tecka - Gualjaina.

DESARROLLO

La cuenca ocupa un área de 5.318 km^2 y un perímetro de 651 km, estas dimensiones determinan una cuenca de tamaño grande (Campos, 1992). El conocimiento del área de drenaje es indispensable en el análisis hidrológico porque en función de ella se obtienen los aforos y la relación entre precipitación y caudal. El perímetro no brinda por sí solo información acerca del tamaño de la cuenca, pero es útil para comparar cuencas de igual superficie. Esta última variable está relacionada con la litología y la edad de la cuenca. Asimismo, el relieve disponible en esta superficie es de 1736,7 m.

La longitud del curso principal del Río Tecka – Gualjaina es de 206 km y se obtuvo con la sumatoria del recorrido del Río Tecka desde sus nacientes más su continuación con el nombre de Río Gualjaina, hasta su desembocadura en el Río Chubut. Respecto a la elongación de la cuenca de drenaje, la longitud de la misma se calculó aplicando el criterio de medición empleado en los análisis hidrológicos, el cual considera la totalidad del recorrido del curso principal incluyendo la sinuosidad del mismo (Jardí, 1985).

Asimismo, para determinar la elongación de la cuenca se consideraron el factor de forma y la razón de elongación obteniéndose un R_f de 0,13 y un R_e de 0,39. Ambos valores inferiores a 1 están indicando que la cuenca de drenaje es de forma alargada y muy alargada por el bajo valor de R_f. El contorno de la cuenca se analizó a través del coeficiente de compacidad (Kc) que arrojó un valor de 2,5 indicando un contorno relativamente lobulado, muy alargado, para Campos (1992) de tipo Clase III de forma oval-oblonga a rectangular-oblonga para la cuenca del Río Tecka – Gualjaina. El coeficiente de redondez (K) con un valor de 6,3 corrobora la forma elongada.

La cuenca del Río Tecka – Gualjaina regitró un tiempo de concentración de 4 h 15’ valor que indica una significativa escorrentía superficial, tiempo que variará según las características de cobertura del suelo en diferentes momentos. El tiempo de concentración es el que tardaría, teóricamente, en llegar a la desembocadura una crecida propiciada por una precipitación situada en el extremo más alejado de la cuenca. El tiempo de concentración tiene gran importancia hidrológica debido a que depende del grado de intervención humana en la cuenca. La compactación de los suelos y las canalizaciones de los cauces fluviales por un lado, reducen considerablemente el tiempo de concentración y por otra parte, facilitan la concentración más rápida de las escorrentías (formación de avenidas). Según Cuesta (2001) la densidad del drenaje afecta al tipo de escorrentía y así en zonas de alta densidad, la escorrentía recorre la superficie rápidamente rebajando el Tc e incrementando el pico de crecida al haber menos infiltración.

La poca pendiente media del río, 0,42 %, que representa 22,8º del ángulo del terreno, supone un relieve llano. Esta condición, contribuiría a mitigar el impacto de una tormenta determinada. Sin embargo, ante un evento de lluvias intensas y fuertes avenidas y por las características del perfil longitudinal del río, favorecerían parcialmente el flujo de la corriente. De acuerdo con la clasificación propuesta por Saavedra (2001) según la pendiente media del cauce principal, la topografía del terreno de la cuenca es de tipo llano. Sin embargo, cabe aclarar que la cuenca presenta áreas caracterizadas por el desarrollo de importantes relieves positivos. El resultado obtenido para el índice de sinuosidad, 1,54, refleja un cauce del tipo transicional (Schumm, 1963; Antoneli y Lopes Thomaz, 2007) o meandroso según la clasificación propuesta por Pedraza Gilsanz (1996).

Dos subcuencas son las principales, la del Arroyo Lepá en la cuenca baja y la del Arroyo Pescado en la cuenca media. Sin embargo, y a pesar de los numerosos cursos de agua que se identifican en la cartografía y de los cuales se observan sus cauces secos en el terreno (ver Fig.4), dadas las características hidrológicas de estos cursos de aguas es posible identificar 4 zonas, el valle del Arroyo Lepá, el valle del Río Gualjaina, el valle del Río Tecka y una última zona que corresponde al resto de la cuenca.

Actualmente, en Gualjaina y su área de influencia, el desarrollo agrícola se da en forma exclusiva a través de la producción de alfalfa. La producción de hortalizas se da a nivel familiar y sólo para autoconsumo. En cuanto a la producción ganadera, la cría de ganado ovino y caprino es la principal y en menor medida el bovino. Los productores son en su mayoría, pequeños minifundistas.

En el valle del Arroyo Lepá se observa claramente la gran energía que trae el agua en momentos de crecida, su amplio lecho y los diferentes tamaños de rodados que en el mismo se encuentran dan cuenta de ello. A lo largo de su recorrido principalmente a la altura del pueblo de Gualjaina, la presencia de defensas denotan la altura y fuerza que las aguas del arroyo poseen cuando presenta gran caudal (ver Fig. 5). Si bien el área se encuentra en un período de sequía, en el año 1932 el Arroyo presentó una crecida extraordinaria, que de acuerdo al testimonio de uno de los primeros pobladores del lugar, llegó a cubrir prácticamente todo el poblado afectando en mayor parte el pastoreo de ovinos, principal actividad en esos años.

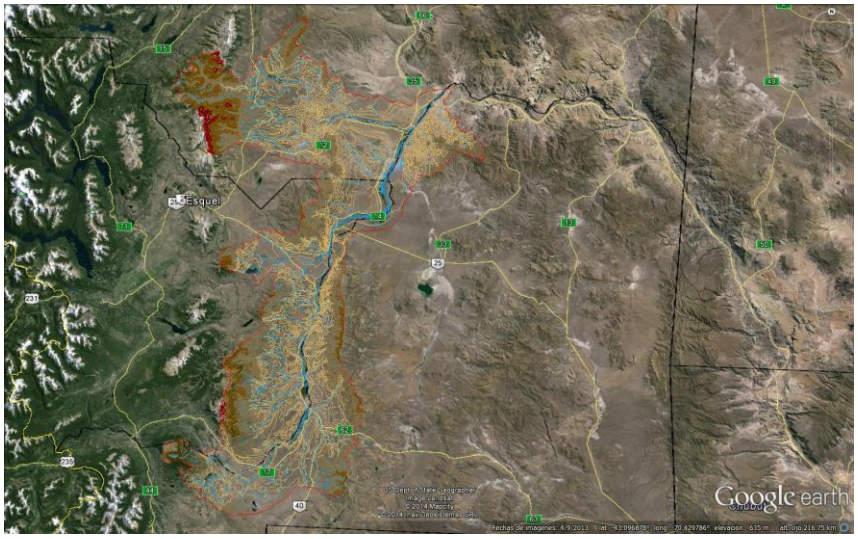


Figura 4. Cuenca del Río Tecka – Gualjaina, Chubut, Argentina, elaborado sobre la base de una captura de imagen del Google Earth.



Figura 5. Arroyo Lepá, cuenca del Río Tecka – Gualjaina, Chubut, Argentina. Fotografías tomadas en enero/2014.

En cuanto al valle del Río Tecka – Gualjaina, desde la cuenca baja, en su confluencia con el Río Chubut, se observa que el mismo llega con un caudal considerable. En dirección hacia el S pero en cercanías de aquí, se puede observar un área de salinas. Los suelos en este sector presentan manchones blancos y mal drenados, si bien no permiten el desarrollo de cultivos, se observan rebaños ovinos y en menor medida vacunos (ver Fig. 6). Siguiendo su recorrido hacia el S, el valle se va ampliando y comienzan a observarse la presencia de ovinos en rebaños más o menos pequeños. El curso de agua se encuentra en principio distante del camino principal pero luego vuelve a encontrarse. Allí es donde se observa el desarrollo de zonas más húmedas con agua que aflora a la superficie y la presencia de vegetación asociada a estos ambientes. Ya en este sector aparece el nombre de Estancia “La Elvira”. Esta estancia ocupa una superficie de 26.872 ha de las cuales 4.000 ha son de valle, es la más grande de toda la zona y la de mayor actividad, principalmente se dedica al manejo extensivo de animales. La zona se caracteriza por la presencia de estepas arbustivo graminosas dominadas por los tipos Mulinum espinosum, Poa ligularis y Stipa speciosa. En cuanto al pastizal, se destacan los arbustos forrajeros del tipo Adesmia campestris, Chuquiraga avellanedae y Ephedra ochreata (Paramidani, 2006).



Figura 6. Desembocadura del Río Gualjaina, Chubut, Argentina. Fotografías tomadas en enero/2014.

Continuando el recorrido, se llega a la zona de confluencia del Arroyo Pescado con la intersección del curso del Río Tecka, el cual a partir de allí adquiere el nombre de Río Gualjaina hasta su desembocadura. Las características de un ambiente más húmedo se mantienen a lo largo del curso del río diferenciándose cada vez más notablemente del resto de la cuenca.

CONCLUSIONES

El Río Tecka – Gualjaina desarrolla una cuenca de tamaño grande y presenta un importante relieve disponible. Adquiere una forma oval-oblonga a rectangular-oblonga y un contorno relativamente lobulado. La pendiente media del río supone un relieve plano, sin embargo, la cuenca presenta en sus extremos y a lo largo de su perímetro, sectores con presencia de importantes relieves positivos, condiciones que contribuirían a incrementar el flujo de la corriente frente a la ocurrencia de intensas precipitaciones y fuertes avenidas.

En la cuenca del Río Tecka – Gualjaina el valle del Río principal, en el sector central del mismo desarrolla su mayor área productiva y de riqueza ecológica, mallines de elevada productividad forrajera. En diferencia, el valle del Arroyo Lepá presenta condiciones más áridas sin que se observen humedales. En el resto de la cuenca las condiciones de aridez se intensifican notablemente dando lugar a un paisaje seco con pocos y bajos matorrales.

El análisis realizado contribuye a incrementar particularmente, el conocimiento de las condiciones físicas de la cuenca del Río Tecka – Gualjaina, la cual forma parte de un espacio poco estudiado, la Patagonia Argentina. Un área caracterizada por la presencia de mallines, de gran relevancia económica y potencial productivo. Los resultados forman parte de un estudio integral de la cuenca que tiene como fin realizar un manejo sustentable de este espacio geográfico.

REFERENCIAS

Antoneli, V., Lopes Thomaz, E., 2007. *Caracterização do meio físico da bacia do Arroio Boa Vista - Guamiranga-Pr.* Caminhos de Geografia Uberlândia, 8, Nº 21. Instituto de Geografia Ufu. Programa de Pós-graduação em Geografia, 46-58. ISSN 1678-6343.

Beeskow, A.M., Del Valle, H.F., Rostagno, C.M., 1987. *Los Sistemas Fisiográficos de la Región Árida y Semiárida de la Pcia. de Chubut.* CENPAT-SECYT, Chubut.

Campos, A., 1992. *Proceso del Ciclo Hidrológico.* Universidad Autónoma de San Luis Potosí. 1ª ed. San Luis Potosí, México, 22-23.

Cuesta, M.J., 2001. *Dinámica erosiva en los paisajes de la cuenca del río Guadajoz (Córdoba y Jalén).* Servicios de Publicaciones de la Universidad de Córdova, Córdova, 226 pp.

ESRI. *ArcGis 9.3.1.*

Gravelius, H., 1914. *Flusskunde. Goschen Verlagshan dlug Berlin.* En Zavoianu, I., 1985. *Morphometry of Drainage Bassins*. Developments in water science, 20. Elsevier, Amsterdam, 238 pp. ISBN 0-444-99587-0

Hathaway, G.A., 1945. *Design of Drainage Facilities.* Transactions of the American Society of Civil Engineer, 110, 697-730.

Heras, R., 1983. *Recursos hidráulicos. Síntesis, metodología y normas.* Cooperativa de publicaciones del Colegio de Ingenieros de caminos, canales y puertos. Madrid, 380 pp.

Horton, R.E., 1932. *Drainage basin characteristics.* Transations of the American Geophysical Union, 13, 522-541.

Horton, R., 1945. *Erosional development of streams and their drainage basins*. Hidrophysical approach to quantitative morphology. Geol. Soc. Amer., 56. Cap. 3, 275-370.

IGM (Instituto Geográfico Militar), 1980-1981. *Cartas topográficas* 1:100.000.

INTA (Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria), 1995. *Atlas de Suelos de la Rep. Arg*. Publicación en CD. Fundación ArgenINTA y Aeroterra S.A. Bs. As.

INTA (Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria), 2002. *II Áreas Agroecológicas de Chubut*. Estación Experimental Chubut. http://www.inta.gov.ar/Chubut/info/documentos/varios /area_ecol.htm - Consulado el día 23/03/2010.

Jardí, M., 1985. *Forma de una cuenca de drenaje. Análisis de las variables morfométricas que nos la definen.* Revista de Geografía, *XIX*. Departamento de Geografía de la Universidad de Barcelona, 41-68.

Kerby, W.S., 1959. *Time of concentration of overland flow.* Civil Eng. 60, 174. 1959.

Kirpich, Z.P., 1940. *Time of Concentration of Small Agricultural Watersheds*. Civil Engineering, 10 Nº 6, 362 pp.

Llamas, J., 1993. *Hidrología General. Principios y Aplicaciones*. Azehu, Bilbao, 635 pp.

Paramidani, M.A, 2006. *Selección Productiva Nacional. Estancia La Elvira*. 15 pp.

Pedraza Gilsanz, J. de, 1996. *Geomorfología, principios, métodos y aplicaciones*. Ed. Rueda. Madrid, 414 pp.

Saavedra, J., 2001. *Planificación Ambiental de los Recursos Forestales en la Región de la Araucanía, Chile. Definición de las Unidades Homogéneas de Gestión.* Tesis Doctotal. Universidad Politécnica de Madrid, 342 pp.

Schumm, S.A., 1963. *Sinuosity of alluvial rivers on the great plains.* Bulletin of Geological Society of America, 74, Nº 9.

Torrero, M y Noseda, P., 2010. *Balance Hídrico en la Cuenca del Río Gualjaina*, Argentina. RALDA.

FLUCTUACIONES INTERANUALES DEL PERÍODO DE MÁXIMO CAUDAL DEL RÍO TECKA – GUALJAINA, ARGENTINA Y LA CIRCULACIÓN TROPOSTÉRICA

Mariana P. Torrero[a] y Eduardo A. Agosta [a,b,c]

[a]Equipo Interdisciplinario para el Estudio de Procesos Atmosféricos en el Cambio Global, PEPACG, Facultad de Ciencias Físicomatemáticas e Ingeniería, Pontificia Universidad Católica Argentina "Santa María de los Buenos Aires", ARGENTINA.
E-mail: mptorrero@gmail.com
[b]Facultad de Ciencias Astronómicas y Geofísicas, Universidad Nacional de La Plata, ARGENTINA.
[c]Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas, ARGENTINA.

RESUMEN

La cuenca del Río Tecka – Gualjaina se localiza al Noroeste de la provincia de Chubut, Argentina y desarrolla una superficie de 5.318 km^2. El objetivo del trabajo es explorar los forzantes del sistema atmósfera-océano asociados a la variabilidad interanual del período de máximo caudal del Río Tecka – Gualjaina. El clima de la región es árido y frío, la precipitación total anual es inferior a 200 mm y la temperatura media anual es de 10°C. El período analizado es 1993-2008 y se caracteriza por presentar condiciones de aridez y la prevalencia de déficit durante el otoño, la primavera y el verano; no se registró exceso en invierno. El régimen del río es del tipo nivo-pluvial con un caudal máximo en octubre de 29,3 m^3/s producto de la fusión de la nieve acumulada esencialmente entre mayo y julio. El semestre junio-noviembre acumula más del 80% del caudal total anual. Las variaciones interanuales del caudal en este período están asociadas a teleconexión troposférica de baja frecuencia (intraestacional a interanual) simétrica respecto del Ecuador, asociada a convección tropical anómala entre aproximadamente 10°N-10°S y 150°-180°E, inducida por anomalías de temperatura superficial del mar en el Pacífico occidental ecuatorial (entre 180°O-150°O). La teleconexión es de estructura barotrópica equivalente, que modifica la posición e intensidad las corrientes en chorro subtropical y polar, afectando la trayectoria de sistemas baroclínicos invernales que precipitan en la región.

Palabras Clave: Caudal, Dinámica fluvial, Teleconexiones troposféricas

INTRODUCCIÓN

El Río Tecka nace en las sierras occidentales de la provincia de Chubut, Argentina, a 1.350 msnm, a los 43°35'18''S y 71°21'03''O. Fluye inicialmente en sentido O – E durante unos 45 km, para luego tomar rumbo S – N hasta su desembocadura en el Río Chubut. En la afluencia del Arroyo Pescado, 43°02'22''S; 70°47'23''O, el Río Tecka toma el nombre de Río Gualjaina; entre ambos poseen una longitud de 206 km. Estos ríos, dan nombre a la cuenca Tecka – Gualjaina de 5.318 km^2 que forma parte de la cuenca exorreica de vertiente atlántica del Río Chubut (ver Fig. 1). A lo largo de su recorrido, el río atraviesa distintas áreas moldeadas a través del tiempo por numerosos procesos geológicos y morfogenéticos.

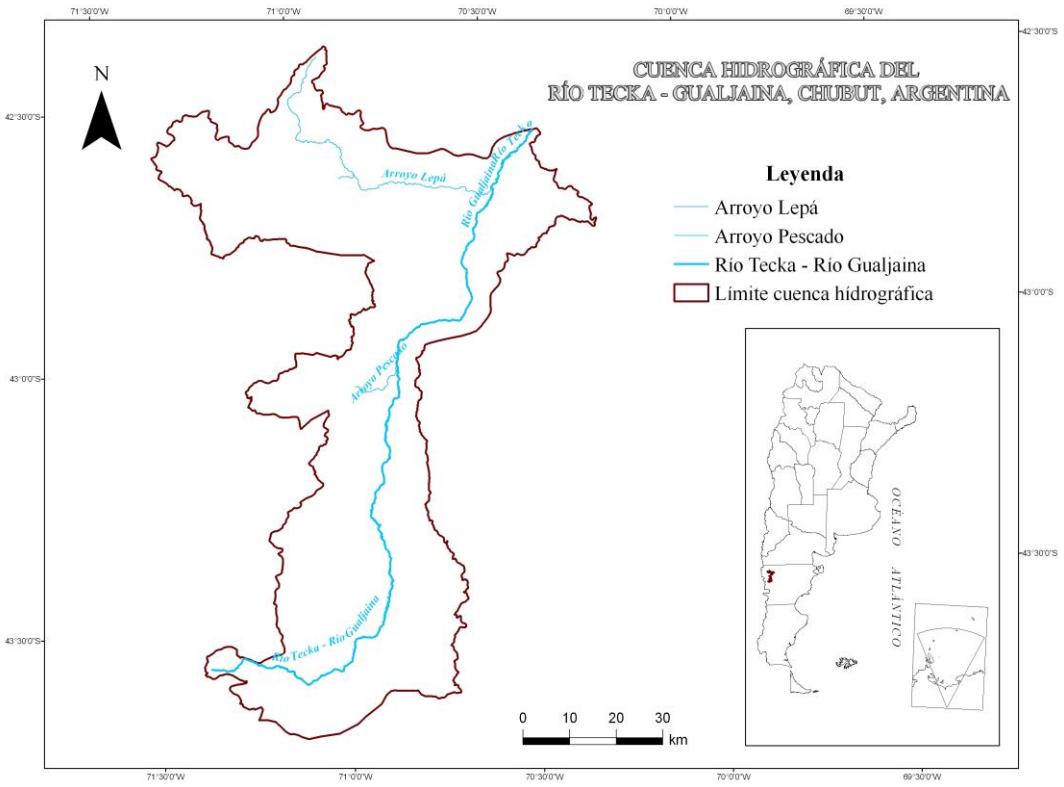


Figura 1. Cuenca del Río Tecka – Gualjaina, Chubut, Argentina.

El clima de la región es desértico templado (Csb, clasificación climática de Köppen y Geiger, Peel et al., 2007) con precipitaciones predominantemente invernales. El valle se caracteriza por una llanura aluvial con áreas cóncavas, inundables y terrazas bajas (Beeskow et al., 1987). La vegetación predominante es de estepa subarbustiva-graminosa (INTA, 2002).

En las áreas semiáridas el recurso hídrico es el factor limitante del desarrollo local y provincial y constituye, además, sistemas especialmente vulnerables a los cambios actuales del uso del suelo y el clima (Gómez Rodríguez, 2008). Por ello, a fin de conocer la relación entre las condiciones atmosféricas y el caudal del Río Tecka – Gualjaina, el objetivo del trabajo es explorar los forzantes del sistema atmósfera-océano asociados a la variabilidad interanual del período de máximo caudal del Río Tecka – Gualjaina.

MÉTODOS O DESARROLLO EXPERIMENTAL

Planteo del Problema

En la República Argentina y particularmente en la región Patagónica, la información físico-ambiental, entre otras, es escasa o inexistente. El conocimiento de la interacción entre los sistemas geofísicos, ambientales, sociales y económicos permitirá evaluar el impacto ambiental y socioeconómico como consecuencia del cambio climático y de las intervenciones antropogénicas.

En particular, conocer la dinámica hidroclimatológica y su relación con los procesos y dinámica hidrológica contribuye a la evaluación ambiental de la región con el fin de

optimizar el manejo, uso, disfrute y preservación del recurso hídrico en la cuenca del Río Tecka – Gualjaina. Esto permitirá mejorar e impulsar el desarrollo económico y social regional futuro, sin comprometer los ecosistemas. En tal sentido, este trabajo forma parte del estudio integral de la cuenca del Río Tecka – Gualjaina, en la provincia de Chubut. Los resultados obtenidos contribuirán al conocimiento del funcionamiento ambiental de este espacio.

Metodología

El balance hídrico se realizó con los datos de precipitación y temperatura correspondientes a la estación de Gualjaina (42°42'S; 70°30'O; 470 msnm) y Valle Chico (42°47'59''S; 71°12'O; 566 msnm) respectivamente, distantes entre sí a 50 km. El período analizado es 1993-2008 y los datos fueron suministrados por la Subsecretaría de Recursos Hídricos de la Nación (SRHN, 2010). El período se seleccionó en función de los datos de caudal existentes para la estación de Gualjaina. El balance hídrico se calculó mediante el método de Thorntwaite y Mather (1957). La precipitación y la evaporación potencial o necesidad de agua son los dos elementos principales necesarios para realizar el cálculo del balance hídrico. En general, el dato de precipitación se encuentra disponible en la totalidad de las estaciones meteorológicas, no así el de evapotranspiración la que se calculó por el método de Thornthwaite y Mather (1957).

Los balances hídricos reflejan la dinámica de la disponibilidad hídrica en función de la temperatura, la precipitación, la evapotranspiración y el almacenaje de agua en el suelo. El ingreso de agua está dado por la precipitación y la salida por la evapotranspiración. Si la precipitación es mayor que la evapotranspiración (P>E), primero se cubrirán las reservas de agua en el suelo (R), la cual depende del tipo de suelo, su capacidad de retención, porosidad, permeabilidad, etc. Si la precipitación es menor que la evapotranspiración (P<E), primeramente se utilizará la reserva de agua (R) que haya en el suelo. Si esta reserva es insuficiente para compensar la necesidad de agua, se entrará en déficit (D). Si la cantidad de precipitación es mayor que la necesaria para satisfacer esta demanda, se produce un exceso de agua (Ex) (Campo de Ferreras et al., 2004). El exceso se refleja en el sistema en la generación de escorrentía subterránea alimentando a las capas freáticas, o superficial, en dirección hacia las depresiones naturales del terreno y/o hacia la red hidrográfica. En el caso de producirse lluvias torrenciales y dependiendo de la tasa de infiltración del suelo, la intensidad de la lluvia, la cobertura vegetal, etc., el escurrimiento superficial puede producirse sin necesidad de haberse colmado esta capacidad. Asimismo, las aguas subterráneas también pueden alimentar a la red hidrográfica (ríos o lagunas) o moverse lentamente hacia el mar.

La relación entre el déficit y la necesidad de agua está dada por el índice de aridez. El índice de humedad muestra la relación entre el exceso y la necesidad de agua. Las variaciones estacionales de la efectividad hídrica se reflejan en la variación del índice hídrico, que determina el tipo climático de las distintas estaciones meteorológicas.

Asimismo, se elaboró el diagrama de Gaussen (1954, 1955) para determinar la existencia y duración de períodos secos (Castillo y Castellví Sentis, 2001). A fin de analizar la dinámica anual de las precipitaciones y el caudal, se graficaron las curvas de ambos elementos para 1993-2008. El comportamiento es producto de la relación entre los factores de intercepción, retención, infiltración y evapotranspiración.

La exploración de la relación entre el caudal del río y sistema atmósfera-océano se realiza mediante la estimación de campos de correlación simple entre variables de la atmósfera, la temperatura superficial del mar (TSM), y la serie estacional de caudal. Los campos se testean con un test uni-variado correspondiente a la correlación simple (Wilks, 2006). Las áreas de correlación significativa, por ejemplo, sobre el campo de geopotencial en 300hPa, indican centros de acción del campo de geopotencial en relación al caudal del Río Gualjaina. Es decir, los centros de acción manifiestan amplitudes del campo de geopotencial asociadas con el caudal.

Análisis de Datos

Datos

La información de la atmósfera en niveles isobáricos (variables: geopotencial [mgp], viento zonal [m/s] y presión al nivel del mar [hPa]) proviene de salidas mensuales de reanálisis del ERA-interim (disponbles en http://apps.ecmwf.int/datasets/) en una resolución espacial de 1,5° de latitud y longitud. Los datos reconstruidos de la temperatura superficial del mar (TSM [°K]) corresponden a la versión 1 de reconstrucciones mensuales de Sea Ice and Sea Surface Temperature del Hadley Center (HADISST1) que tienen una resolución espacial de 1° de latitud y longitud (disponibles en http://hadobs.metoffice.gov.uk/hadisst/). Asimismo se emplearon datos mensuales de Radiación de Onda Larga Saliente (ORL, en inglés, [watt/m^2]) de los archivos del NCAR, interpolados espacialmente en un enrejado de 2,5° de latitud y longitud por la NOAA (disponible en http://www.esrl.noaa.gov/psd/data/gridded/). Los campos de precipitación mensual consisten valores mensuales de precipitación donde las observaciones se fusionan con estimaciones de precipitación de algoritmos basados en diversos satélites bajo la técnica demoninada CMAP (CPC Merged Analysis of Precipitation; [mm/día]). El análisis está sobre un enrejado de 2,5° de latitud y longitud (disponible en http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/global_precip/html/wpage.cmap.html). A nivel regional, se emplearon datos observados e interpolados en un enrejado de 0,5° de latitud y longitud sobre tierra provistos por el Climatic Research Unit versión TS 3.21 (disponibles htpp://badc.nerc.ac.uk/).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El período 1993-2008 se caracteriza por presentar condiciones de aridez y la prevalencia de déficit (516,8 mm) durante el otoño, la primavera y el verano, estación en la cual se intensifica. Las precipitaciones de comienzo del período invernal contribuyen al proceso de recarga (17,4 mm) a él, le sigue un período de utilización (17,4 mm) cuando las lluvias comienzan a disminuir. No se registran excesos (ver Figs. 2 y 3). El tipo climático correspondiente, según los índices hídrico y térmico de Thornthwaite (1948) es árido (-48,8) mesotérmico (635 mm) respectivamente.

El río se caracteriza por presentar un régimen nivo-pluvial, con un caudal máximo en el mes de octubre de 29,3 m^3/s producto de la fusión de la nieve. El aumento del caudal en el mes de agosto es consecuencia de las abundantes precipitaciones registradas durante julio (ver Fig. 4). El alto coeficiente de escorrentía determinó que más del 70% del agua precipitada escurre superficialmente.

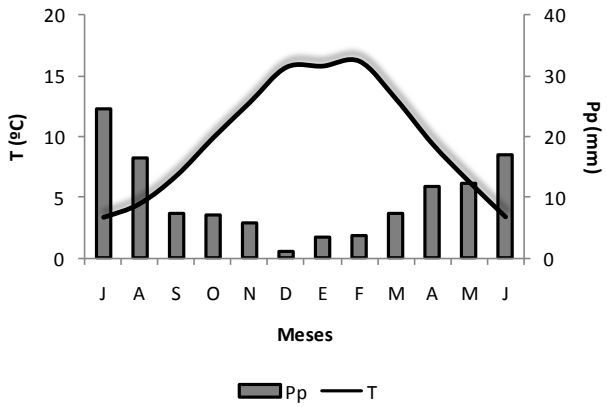


Figura 2. Diagrama ombrotérmico para el período 1993-2008 en la localidad de Gualjaina.

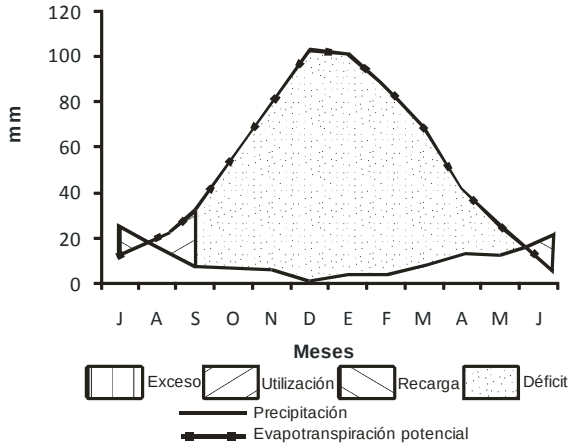


Figura 3. Balance hídrico para el período 1993-2008 en la localidad de Gualjaina.

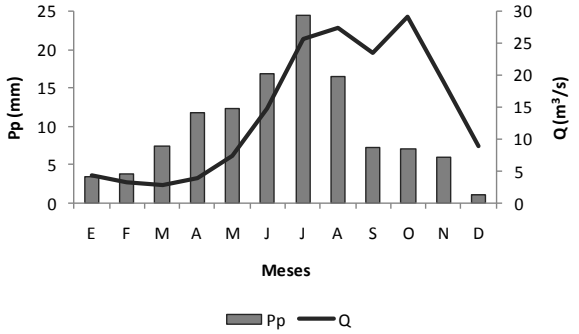


Figura 4. Distribución anual de los valores de precipitación en la cuenca y caudal del Río Gualjaina en el período 1993-2008.

La exploración de las variables atmosféricas y del océano a partir de la correlación con el caudal del Río Gualjaina para distintos sub-períodos del ciclo anual mostró que las señales más distintivas se encuentran para los semestres de máximo caudal (junio-noviembre) y de mínimo caudal (diciembre-mayo). En este análisis preliminar sólo se mostrarán los resultados para el semestre de pico del caudal. Las variaciones año a año del caudal acumulado durante la estación pico responden a procesos remotos de la cuenca del Pacífico, tal como se describe a continuación.

Los campos de correlación entre el viento zonal y la altura geopotencial en troposfera superior (ver Figs. 5a, b) y presión de superficie (ver Fig. 5c) con caudal del Río Gualjaina durante el semestre junio-noviembre, describe amplitudes significativas asociadas a anomalías de circulación atmosférica zonalmente alongadas, sugiriendo posible propagación meridional con modificaciones en el comportamiento de la rama de Hadley sobre latitudes subtropicales y medias del Pacífico y Sudamérica. Es muy probable que estas anomalías de circulación troposférica respondan a las asimetrías zonales significativas de TSM en latitudes ecuatoriales del Pacífico occidental (ver Fig. 6a) que generarían típicas ondas de Kelvin que propagan simétrica y meridionalmente respecto del Ecuador. Asimismo tales anomalías parecen ser de características mixtas (Kelvin-Rossby) ya que ligeramente propagan hacia el Este mientras se extienden hacia el polo (ver Figs. 5a, b). Las anomalías de TSM ecuatoriales inducen convección anómala (ver Fig. 6b) que incrementan la precipitación en el Pacífico ecuatorial occidental (ver Fig. 6c).

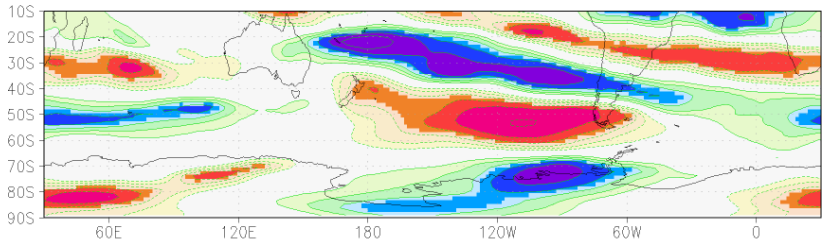


Figura 5a. Correlación entre el caudal en el semestre jun-nov del Río Gualjaina y la componente zonal (U) del viento en 200hPa. Sombreado color en transparencia: valores de correlación. Colores realzados, valores significativos al 90%.

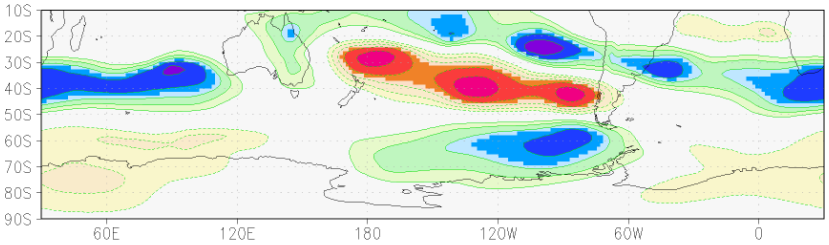


Figura 5b. Ídem Fig. 5a pero para Altura Geopotencial en 300hPa.

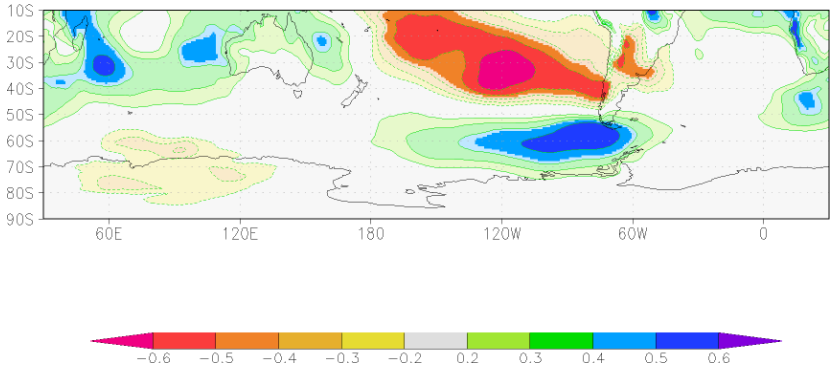


Figura 5c. Ídem Fig. 5a pero para presión a nivel del mar.

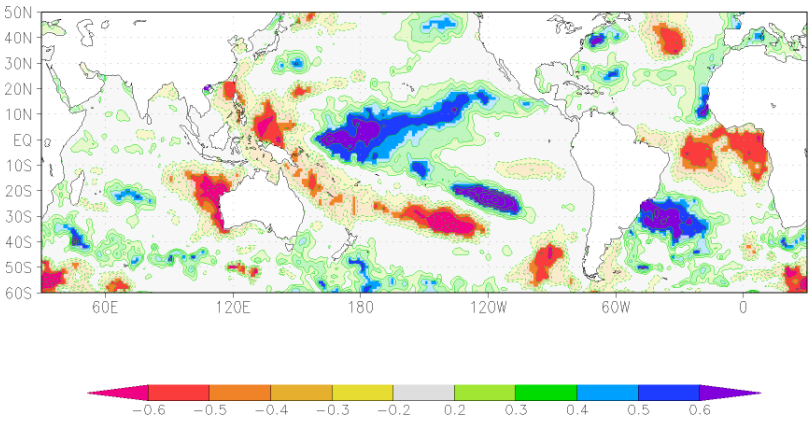


Figura 6a. Ídem Fig. 5a pero para TSM del HADSST 1.

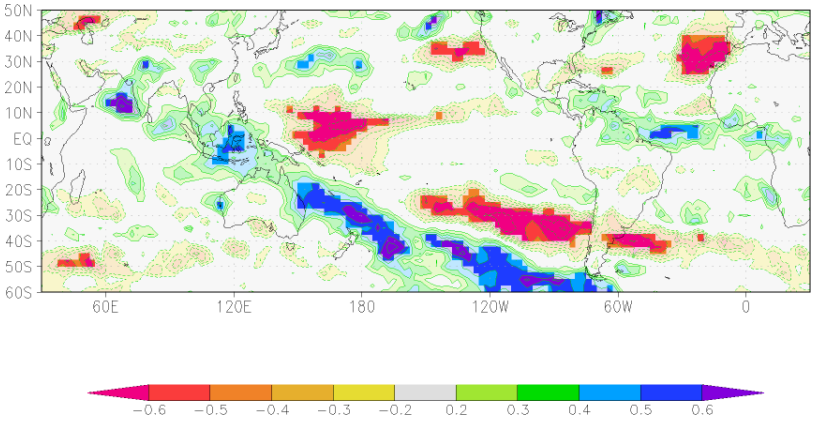


Figura 6b. Ídem Fig. 5a pero para onda larga saliente interpolada de la NOAA.

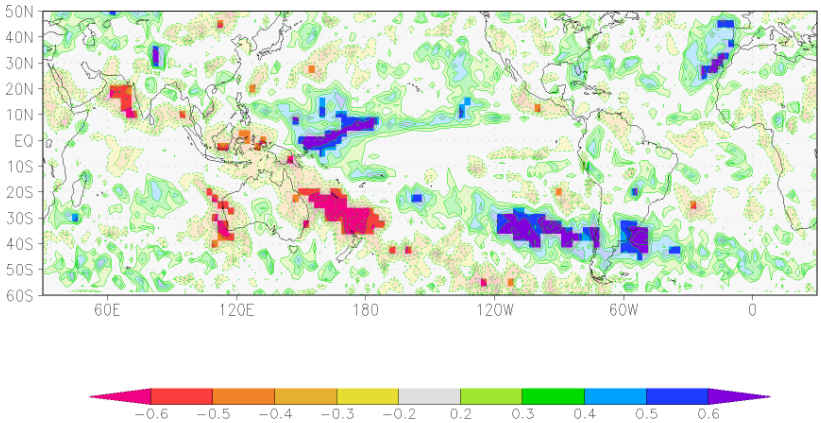


Figura 6c. Ídem Fig.5a pero para precipitación del CMAP.

Los cambios inducidos en la posición media de la corriente en chorro subtropical y polar favorecen un corredor zonal de mayor convección y precipitación incrementada en la cuenca del Pacífico sur subtropical y de latitudes medias, que se extiende hasta el sur de Sudamérica afectando la región bajo estudio (ver Fig. 6a, b, c).

CONCLUSIONES

En la cuenca del Río Tecka – Gualjaina predominan condiciones de aridez y de déficit hídrico en el período 1993-2008. El análisis de los índices determina como tipo climático al árido mesotérmico o estepa. El régimen del río es nivo-pluvial. En cuanto a la relación entre el caudal y la circulación troposférica, se mostró que los acumulados de caudal durante el semestre de máximo caudal (junio-noviembre) responden a variaciones en baja frecuencia de procesos remotos trópico-extratrópico. El semestre junio-noviembre acumula más del 80% del caudal total anual. Las variaciones interanuales del caudal en este período están asociadas a teleconexión troposférica de baja frecuencia (que podría ser intraestacional a interanual) simétrica respecto del Ecuador, asociada a convección tropical anómala entre aproximadamente 10°N-10°S y 150°-180°E, inducida por anomalías de temperatura superficial del mar en el Pacífico occidental ecuatorial (entre 180°O-150°O). La teleconexión es de estructura barotrópica equivalente, que modifica la posición e intensidad las corrientes en chorro subtropical y polar, afectando la trayectoria de sistemas baroclínicos invernales que precipitan en la región.

REFERENCIAS

Beeskow, A.M.; Del Valle, H.F.; Rostagno, C.M. 1987. *Los Sistemas Fisiográficos de la Región Árida y Semiárida de la Pcia. de Chubut.* CENPAT-SECYT, Chubut.

Campo de Ferreras, A.M.; Capelli de Steffens, A.M.; Díez, P.G., 2004. *El clima del Suroeste Bonaerense.* Departamento de Geografía y Turismo, Universidad Nacional del Sur. Bahía Blanca, 99 pp.

Castillo, F.E.; Castellví Sentis, F. 2001. *Agrometeorología.* Mundi Prensa. España, 520 pp.

Gaussen, H. 1954. *Théories et classifications des climats et microclimats.* VIII Congrés Int. Bot. Act. 7 et 3. CNRS. 125-130.

Gaussen, H. 1955. *Expresión des milieux par des formules écologiques.* Colloque Inter. CNRS. 257-269.

Gómez Rodríguez, R., 2008. *La Estación Experimental de zonas Áridas estudiará el balance hídrico en zonas semiáridas*. Sección: Agroalimentación, Andalucía Investiga. Andalucía. www.andaluciainvestiga.com, www.eeza.csic.es – 2/01/2008

INTA 1995. *Atlas de Suelos de la Rep. Arg.* Publicación en CD. Fundación ArgenINTA y Aeroterra S.A. Bs. As.

INTA 2002. *II Áreas Agroecológicas de Chubut. Estación Experimental Chubut.* http://www.inta.gov.ar/Chubut/info/documentos/varios/area_ecol.htm - Consulado el día 23/03/2010.

IPA2010, http://organismos.chubut.gov.ar - Consultado el 12/04/2010.

Köppen, W. 1938. *Des geographischen system der climate.* En: Köppen, W. y Geiger, R., *Handbuch der klimatologie.* Borhtraeger, Berlín.

Peel, M.C.; Finlayson, B.L.; McMahon, T.A., 2007. *Updated world map of the Köppen–Geiger climate classification.* Hydrol. Earth Syst. Sci. 11: 1633–1644. doi:10.5194/hess-11-1633-2007. ISSN 1027-5606.

SRHN, 2010. *Publicaciones hidrometeorológicas 2008/2009.* Dirigido por: López, Fabián. Bs.As.: Sec. de Obras Públicas. CD-ROM. ISBN 978-987-98869-8-4.

Thornthwaite, C.W. 1948. *An approach toward a rational classification of climates.* The Geographical Review, Vol. 38. American Geographical Society. New York. 55-94.

Thornthwaite, C.; Mather, J. 1957. *Instrucciones y tablas para el cómputo de la evapotranspiración potencial y el balance hídrico*. Instituto Tecnológico de Drexel. Publicaciones de Climatología. Vol X Nº 3. New Yersey, 67 pp.

Wilks, D.S., 2006. *Statistical Methods en the Atmospheric Sciences*. 2da Ed. International Geophysics Series. Academic Press (ELSEVIER), 630 pp. ISBN 13: 978-0-12751966-1, ISBN 10: 0-12-751966-1.

http://apps.ecmwf.int/datasets/
htpp://badc.nerc.ac.uk/
http://hadobs.metoffice.gov.uk/hadisst/
http://www.esrl.noaa.gov/psd/data/gridded/
http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/global_precip/html/wpage.cmap.html



ices
INTERNATIONAL CENTER FOR EARTH SCIENCES
Nodo Argentina

PARA MÁS INFORMACIÓN: **www.cnea.gov.ar/cac/ices**