



E-ICES 8

Acta de trabajos completos

30 de Octubre al 2 de Noviembre de 2012
Mar del Plata - Buenos Aires - Argentina



INGV



UNCUYO



FUNDACIÓN WILLIAMS





Actas de trabajos completos E-ICES 8 / G. Bianchini ... [et.al.] ; compilado por María Armeite y Emilia Elisa Molina. - 1a ed. - Ciudad Autónoma de Buenos Aires : Comisión Nacional de Energía Atómica - CNEA, 2013. CD-ROM

ISBN 978-987-1323-33-3

1. Ciencias de la Tierra. I. Bianchini , G. II. Armeite, María , comp. III. Molina, Emilia Elisa, comp.
CDD 550

Fecha de catalogación: 09/09/2013



Autoridades ICES Argentina

Dr. José Ruzzante (CNEA).

Secretaría Ejecutiva

Dra. María Isabel López Pumarega (CNEA).

CONSEJO DE REPRESENTANTES

Presidente

Dr. Juan Carlos Leiva (UNCuyo)

Consejo

Dr. Alfredo Boselli (CNEA)

Dr. Jorge Barón (UNCuyo)

Ing. Julio Nicolai (CNEA)

Dr. Manuel Tovar (UNCuyo)

COMITÉ ORGANIZADOR

Comité Organizador ICES UNCuyo

Lic. Emilia Molina (ICES UNCuyo)

Dr. Oscar Papú (ICES UNCuyo)

Srta. Iara Mercado (ICES UNCuyo)

Sr. Agustín Espejo (ICES UNCuyo)

Srta. Victoria Balducci (ICES UNCuyo)

Comité Organizador ICES-CNEA

Dr. Darío Nelson Torres, ICES, (CNEA), Buenos Aires, Argentina.

Mg. Lic. Martín Pedro Gómez, ICES, (CNEA), Buenos Aires, Argentina.

Ing. Carlos Guzman, ICES, (CNEA), Buenos Aires, Argentina.

Lic. Dino Filipussi, ICES, (CNEA), Buenos Aires, Argentina.

Sra. María Armeite, ICES, (CNEA), Buenos Aires, Argentina.

Ing Valeria Ines Ortega Paredes ICES, (CNEA), Buenos Aires, Argentina.

Lic. Cynthia Hucauluk, ICES, (CNEA), Buenos Aires, Argentina.

Lic. Miriam Rocío Neyra Astudillo, ICES, (CNEA), Buenos Aires, Argentina.

Sr. Nicolás Marcelo Nuñez, , ICES, (CNEA), Buenos Aires, Argentina.

Comité Organizador ICES-Malargüe

Ing. Agr. Nidia Barbero (ICES-Malargüe)

Prof. Amalia Ramires (ICES-Malargüe)

Lic. Adalgisa Scotti (ICES-Malargüe)

Ing. Frtal. Ana Rosa Castaño Gañan (ICES-Malargüe)

Lic. Laura Salgán (ANPCyT-MHNST-ICES)

Dra. Gabriela Díaz Isenrath (ICB-UNCuyo)

Téc. César Ojeda (ICES-Malargüe)

Téc. Andrés Risi (ICES-Malargüe)

Lic. Rut Lecitra (ICB UNCuyo)



Índice

- 6 Prólogo, Dr. José E. Ruzzante
- 7 Bianchini, G.; Caymes Scutari, P.
Mejora de la predicción de la propagación de incendios forestales mediante el análisis de la calibración de los parámetros evolutivos del sistema estadístico-evolutivo 'ESS'
- 24 Bilbao, T.; Thomas, P.
Cambia tus hábitos, no el clima. Manual de aplicación docente frente a la lucha contra el Cambio Climático en Mendoza
- 40 Camiz, S.; Duarte, L. D.S.; Gomes, G. C.
Exploratory Analysis of Traits for the Study of the Seed Dispersal by Birds
- 52 Camiz, S.; Poscolieri, M. and Roverato, M.
Comparison of three Andean volcanic complexes through Multidimensional Analyses of geomorphometric data
- 75 Capra, B.
El Programa de Acciones Intersectoriales para la Reducción del Riesgo de Desastres
- 89 Castaño Gañán, A.R; Roig, F. A.; Hadad, M.A.
Estudio preliminar Dendrocronológico en Schinus Odonelli en Malargüe, Mendoza, Argentina
- 95 Cellone, F. y Melo, M.
Implicancia ambiental de los cambios hidrológicos inducidos por el hombre en el humedal de la Bahía de Samborombón, Argentina
- 106 Cisneros, H.; Ahumada, M.N.; Arce, T.; Castañón, E; Peñas, L; Mailhos, S.; Delamarre, J.; Berandini, M. y Torres, J.
Identificación de parámetros geológicos para la zonificación de eventos aluvionales en Mendoza
- 122 Davis, A.; Suárez, L.; Moyano, R; Herrera, J.; Bilbao, T.; Córdova, Ma. P.; Pigret
Manejo Integral de Ecosistemas de Montaña: Conservación Participativa del Cordón del Plata y Áreas Colindantes
- 137 Fermani, S.; Ruiz, D. y Cisneros, H.
Procesos de segregación residencial y su incidencia en la configuración de escenarios de riesgos naturales en el Gran Mendoza
- 145 Finotti, F.; Fioretti, A. M.; Landini, W.; Tonelli, A.; Zandonai, F.
"Las investigaciones de la red museal Pangea: Nuevos descubrimientos paleontológicos y geoquímicos en el yacimiento de dinosaurios del Valle de los Titanos (El Cuy, Rio Negro)".
- 159 Gargiulo, José D.; Chaparro, Marcos A.E.
Estudios de contaminación antropogénica en la Base Marambio (Antártida) utilizando métodos de magnetismo ambiental y geoestadística.
- 173 Gobbi, M. F.; Peralta, D.; Videla, M. S.; Labiano, S.
Biorremediación de suelos contaminados con hidrocarburos. Efecto de la incorporación de fertilizantes nitrogenados.



- 183 Hernández, G.; Rubio, R.
Causas de los problemas ambientales en establecimientos de engorde de bovinos a corral del partido de Tandil.
- 200 Huggenberger, D. A.; Vargas, W. M.
Evolución de una Oscilación Casi Cuadrienal en la Precipitación a través de un Mapa Auto Organizado de Redes Neuronales.
- 217 Huggenberger, D.; Vargas, W. M.
Una Posible Relación entre una Oscilación Casi Cuadrienal en la Precipitación y la Oscilación Casi Bienal Estratosférica.
- 234 Kostadinoff, J.; Gregori, Daniel A.; Benedini, L; Raniolo, A. y Robles, D.
Mapa de anomalías gravimétricas de Bouguer y su correlación con las cuencas sedimentarias en la provincia de San Luis.
- 248 Martínez, D.; Vich, A.; Trombotto, D.; Quiroz Londoño, M.; Ferrante, A. y Massone, H.
Caracterización isotópica de agua, hielo y nieve en el Cordón del Plata, Mendoza, Argentina.
- 258 Molina, E.; Lambarri, J; Vaccarino, E., Espejo, A.; Miner, G.; Barón, J.
Proyecto de elaboración del Atlas de peligros de Mendoza.
- 269 Moralejo, M.d.P. y Acebal S. G.
Contenido de Metales Traza en Suelos de la Región Pampeana Semiárida.
- 282 Navarro, M.; Petricio, S.; Alessandrini, G.; Vázquez, J.; Lavalle, L. y Giaveno, A.
Estudio Preliminar en la biodegradación aeróbica de suelos contaminados con hidrocarburos en vistas a la optimización del proceso a campo.
- 295 Ocampo, D. ; Rivas, R.; Silicani, M; Carmona, F.; Holzman, M. y Mancino, C.
Estimación de la fracción evaporativa a partir de registros de humedad de suelo y un lisímetro de pesada.
- 307 Ortiz, J; Merlo, M.
Vulnerabilidad social bajo influencia de aluviones en la Ciudad de San Luis, Argentina.
- 322 Palmerio, J. J.; Del Carmen, A. G.
Estimación de Coeficientes de Retardo y Dispersividad Longitudinal a partir de Curvas de Breakthrough.
- 337 Parica, C. A.; Dapeña, C.; Remesal, M. B.; Salani F. M.
Caracterización química e isotópica del agua en el sector norte de la Meseta de Somun Cura. Río Negro.
- 346 San Martín, L.; Marcomini, S.C. y López, R. A.
Vulnerabilidad a la erosión costera entre las localidades de Mar de Cobo y Mar Chiquita, provincia de Buenos Aires, Argentina.
- 356 Sileo, N. R.; Grattone, N.; Fuentes, N.O
Primeros avances en la identificación e interpretación del fondo químico natural de las aguas subterráneas en la cuenca del Río, Buenos Aires, Argentina.
- 368 Suárez Ántola, R.
Estudio con trazadores en las aguas costeras del Departamento de Montevideo



- 386 Suárez Ántola, R. and Suárez Bagnasco, D.
The Viscoelastic Properties of Composite Solids: A Unified Fractal Model of Power Law and Stretched Exponential Responses.
- 404 Torres, D. N.; Guzmán, C. A.; Sánchez, H
Campaña al Volcán Peteroa 2012.
- 411 Torres, J.; Cisneros, H.; Ahumada, M. N.
Propuestas para la mitigación de la vulnerabilidad estructural ante peligros de origen hidrológicos-geológico en el oasis normendocino.
- 430 Torres, P. S. y Camiz, S.
Propiedad de monotonidad de índices de similitud y disimilitud usados en ecología.



Prólogo

Desde el comienzo pretendimos darle un rasgo distinto a los Encuentros E-ICES, basado en la necesidad de lograr una visión integrada (multidisciplinaria) de las diversas problemáticas que se presentarían en los Encuentros. Esto, lo veíamos como una necesidad. Para tal fin se diagramaron las presentaciones de los Trabajos de manera tal que no fueran expuestos en la misma Sesión del Encuentro los temas de una misma área. Así, por ejemplo un trabajo de geología sería escuchado y comentado por expertos de otras aéreas. Con el mismo fin, se aceptaron la presentación de Trabajos no finalizados, pensando que su posterior desarrollo fuera ampliado por la mirada de otras disciplinas. También fue nuestro interés desde los comienzos, que los temas desarrollados por el ICES tuvieran una transferencia inmediata a la sociedad y que ésta se encontrara informada de los logros y avances en las distintas temáticas. Por último y de fundamental importancia, conociendo los logros de distintos grupos de investigación y desarrollo, se gestionó la construcción de equipamiento nacional de uso en geofísica, así se desarrollaron equipos de medición de gases, detectores continuos de radón, equipos de Emisión Acústica, etc.

Creo que mucho de estos objetivos fueron logrados, de lo que sí estoy seguro es que a lo largo de estos Encuentros se generaron ideas y proyectos entre distintos grupos de investigación, los cuales se están concretando.

También en estos Encuentros se acuñó la idea de la realización de otros Congresos, como ejemplo podemos mencionar las tres Jornadas sobre Prevención de Riesgo de Desastres, dos realizadas en Mendoza Capital y la otra en Catamarca, habiendo sido la primera de ellas el origen de las Primera y Segunda Carta de Mendoza sobre la Gestión de Riesgo de Desastre.

Finalizo este Prólogo agradeciendo el apoyo de la Agencia Nacional de Promoción Científica y Tecnológica por el subsidio, PICT ICES-MAE 2007: 01769,; “Emisión Acústica y Precursores Sísmicos”; a la Municipalidad de Malargüe, al “Grupo Los Azufres” Escuadrón 29 de la Gendarmería Nacional, Malargüe, por su apoyo y acompañamiento en las campañas realizadas; a la Fundación Williams que colabora con nosotros desde hace años. Particularmente este año debo agradecer la colaboración prestada por la Secretaria Ambiente y Desarrollo Sustentable del Gobierno de Mendoza, quien posibilitó la comunicación directa por Internet con la Estación Multiparamétrica del volcán Peteroa, y por último a la Embajada de Italia en Argentina, por su incondicional apoyo desde el comienzo del ICES.

Dr. José E. Ruzzante
Director Científico del ICES

12 de julio de 2013



Mejora de la predicción de la propagación de incendios forestales mediante el análisis de la calibración de los parámetros evolutivos del sistema estadístico-evolutivo ‘ESS’ *

G. Bianchini¹, P. Caymes Scutari^{1,2}

¹Laboratorio de Investigación en Cómputo Paralelo/Distribuido, Departamento de Ingeniería en Sistemas de Información, Facultad Regional Mendoza, Universidad Tecnológica Nacional

²Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas - Argentina

e-mail: gbianchini@frm.utn.edu.ar

RESUMEN

Los incendios forestales constituyen un factor de alto riesgo con fuerte impacto tanto a nivel ecológico-ambiental como socio-económico. Es por ello que resulta importante su estudio y modelado para su adecuada predicción y gestión. No obstante, los modelos de comportamiento de propagación de incendios forestales suelen presentar un cierto nivel de incertidumbre en los parámetros a raíz de la imposibilidad de medirlos en tiempo real, por lo que suelen ser estimados a partir de medidas indirectas. Ello ha originado el desarrollo de diversos métodos de reducción de incertidumbre, cuyo compromiso entre precisión y complejidad puede variar notablemente. El sistema ESS (Evolutionary-Statistical System) es un método orientado a la reducción de incertidumbre que aplica Análisis Estadístico, Computación de Alto Rendimiento (HPC) y Algoritmos Evolutivos Paralelos (AEP).

Los Algoritmos Evolutivos son una clase de mecanismo iterativo de optimización y/o búsqueda que a fin de hallar una solución se basan en los principios de la evolución y la genética de la población bajo consideración. Los mismos son de propósito general e involucran en su funcionamiento diversos parámetros que requieren ajuste, y que determinan la calidad de su utilización. Dicho ajuste resulta una tarea crucial para el buen desempeño de los mismos. En este trabajo, se ha realizado un estudio empírico del ajuste estático de los parámetros de sintonización (porcentaje de criadores, tamaño de la población, etc.) para evaluar la efectividad de las distintas configuraciones y el impacto sobre la aplicación de Incendios Forestales. Asimismo se presentan los resultados obtenidos considerando rangos de valores determinados en la bibliografía especializada. Como resultado, se verificó que para el caso de estudio, la combinación de parámetros más adecuada es la planteada como clásica. Por otra parte, en un futuro análisis se tratará la interdependencia de los parámetros con variación en tiempo de ejecución.

Este trabajo ha sido financiado por Conicet mediante el proyecto PIP 11220090100709, por la UTN a través del proyecto UTN1194, y por ANPCyT mediante el proyecto PICT PRH 2008-00242.



INTRODUCCIÓN

Actualmente, gran cantidad de proyectos de investigación básica y aplicada resultan interdisciplinarios por naturaleza, dado que suelen involucrar aspectos relacionados con las ciencias experimentales, la matemática y las ciencias de la computación. Dicha intersección de disciplinas es lo que se denomina **ciencia computacional**, y por medio de factores como el modelado matemático, la simulación, la visualización, la programación y la computación de alto rendimiento, permite el estudio de problemas que anteriormente resultaban muy complejos, demandantes de tiempo y espacio (en términos de memoria y almacenamiento), e incluso muy peligrosos por los riesgos humanos y/o ambientales que conllevan [1]. Algunos de los factores antes mencionados cobran importancia a la hora de valorar su aporte a la ciencia. El modelado consiste en la representación matemática y en la aplicación de métodos para el análisis de problemas complejos del mundo real a fin de realizar predicciones acerca de lo que debería suceder de acuerdo a ciertas acciones en función de los valores asumidos por el sistema. A su vez, a través de la simulación los modelos son implementados en la forma de programas computacionales, con parámetros de entrada que describen al modelo y permiten interpretarlo para obtener un resultado que representa el comportamiento esperado del sistema bajo esas condiciones de partida. Sin embargo, es frecuente que las herramientas de simulación arrojen resultados ciertamente distantes del comportamiento real del fenómeno simulado, dado que existen diversas fuentes de error (en cuanto a la precisión): errores, asunciones o cotas en la formulación del modelo, errores algorítmicos o lógicos en la implementación computacional, limitaciones relacionadas con la representación numérica, la precisión, el redondeo y el truncamiento, etc. Lamentablemente, aún cuando la formulación del modelo y el algoritmo de implementación estén libres de errores, es muy difícil que el simulador ofrezca una salida siempre fiel a la situación real que se desea representar, dada la incertidumbre introducida tanto por las expresiones matemáticas como por la representación numérica de las computadoras, ya que ambas presentan limitaciones intrínsecas a la dificultad o impedimento de medir, cuantificar y/o representar todos los aspectos o parámetros involucrados en el sistema bajo estudio. Existen diferentes métodos para la reducción de incertidumbre, los cuales permiten reducir los efectos negativos provocados por esa infinidad de mundos o escenarios no representables matemática ni computacionalmente. De esta manera, la reducción de incertidumbre constituye un proceso muy importante para lograr predicciones más acordes a la realidad, que permitan constituir herramientas confiables para asistir a los sistemas de toma de decisiones. El presente artículo se centra en un método de reducción de incertidumbre, denominado ESS, el cual descansa sobre cuatro pilares: la estadística, la computación evolutiva, la computación de alto rendimiento y la sintonización. La estadística ofrece la posibilidad de estudiar tendencias en el comportamiento del sistema bajo diversas condiciones. La computación evolutiva permite orientar la búsqueda de una predicción más precisa. La computación paralela ofrece la infraestructura para explotar y desplegar el espacio de búsqueda, en tiempos humanamente razonables. La sintonización constituye un proceso mediante el cual pueden modificarse,



ajustarse, mejorarse y/o calibrarse los diferentes parámetros y aspectos involucrados en el sistema, que permitan alcanzar resultados de calidad, en un tiempo menor, y con una utilización de recursos más eficiente. Si bien el método ESS puede aplicarse en cualquier sistema de predicción y/o prevención que conlleve simulación, en este artículo se presentan resultados obtenidos en la predicción de incendios forestales.

Los incendios forestales constituyen un serio riesgo que año a año causa grandes daños tanto desde el punto de vista ecológico-ambiental, como desde el humano, social y económico [2]. El riesgo aun se incrementa cuando las condiciones meteorológicas son extremas, con estaciones secas, temperaturas elevadas y/o fuertes vientos. Europa Meridional es un claro ejemplo de regiones que presentan condiciones con alto riesgo de incendio, y que todos los años suele sufrir siniestros de diversas magnitudes. Asimismo, en la Argentina se producen incendios forestales con cierta frecuencia, que afectan a los bosques autóctonos impactando indefectiblemente en el ecosistema. Un claro ejemplo lo constituyen los sucesivos incendios que afectaron a la zona de Tierra del Fuego en el transcurso de tan solo dos meses a principio de 2012, incluyendo Bahía Torito, Bahía San Pablo, Laguna El Diamante y Corazón de la Isla. (Figura 1).



Figura N° 1. Brigadistas de todo el país combaten el fuego. [3].

Lamentablemente, gran parte de los incendios se originan por distintos factores humanos [4]: deforestación, quema de basura, quemas premeditadas, accidentes, etc.

El fenómeno de los incendios forestales no sólo provoca pérdidas y daños irreversibles a nivel de bosques y zonas verdes, sino que además posee un gran impacto en la salud humana y ambiental. Es por ello que el proceso de lucha contra el fuego intenta valerse de distintos tipos de herramientas y recursos para la prevención, la predicción, la detección y monitorización, el manejo y la lucha contra el fuego propiamente dicha, de forma tal de acelerar el combate de la catástrofe, e intentar minimizar los efectos negativos provocados por el incendio.



La simulación de la propagación de incendios forestales constituye un desafío desde el punto de vista computacional, dada la complejidad que involucran los modelos, la necesidad de métodos numéricos y la eficiente administración de los recursos para obtener los resultados. En este contexto, la clase de métodos presentados en este trabajo constituye una importante herramienta para la prevención y predicción de incendios forestales, dado que proveen información más completa acerca del posible comportamiento del fuego y de las zonas que corren mayor peligro de ignición. El peligro depende de factores estáticos como la pendiente del terreno o el tipo particular de vegetación, pero también depende de factores dinámicos como la humedad de la vegetación y la velocidad y dirección del viento. Al producirse un incendio, es muy difícil -si no imposible- conocer de antemano las condiciones específicas bajo las que se inició el fuego, con lo cual se dificulta bastante la tarea de prever la velocidad de propagación del fuego o incluso la intensidad de la llama a fin de predecir el comportamiento del incendio. Por ello, la calibración de los parámetros de funcionamiento del método resulta fundamental para reducir las fuentes de incertidumbre que atenúan la precisión de las predicciones.

En lo que sigue del artículo se presenta, primeramente, una taxonomía de los métodos de predicción y se proveen los detalles del método ESS. En segundo lugar se definen los aspectos generales involucrados en el proceso de sintonización o calibración considerados para el diseño experimental. En tercer lugar se documentan los experimentos realizados y sus respectivos resultados. Finalmente, se presentan las conclusiones del trabajo.

Método de Predicción

En la presente sección se brinda una clasificación de los métodos de predicción aplicados a incendios forestales, partiendo desde lo que llamamos Predicción Clásica o aplicación clásica de un simulador de comportamiento de incendios forestales, pasando por los métodos Data-Driven (o conducidos por datos) de única solución y los de solución solapada múltiple, dentro de los cuales se encuentra el Método Estadístico-Evolutivo (ESS) sobre el cual se ha realizado la experimentación y sintonización de parámetros descritos en el presente trabajo.

Predicción Clásica

Básicamente, la Predicción Clásica consiste en utilizar cualquier simulador de comportamiento de incendios para evaluar la posición del frente de fuego luego de un determinado intervalo de tiempo. El simulador debe alimentarse con todos los parámetros requeridos (vegetación, condiciones meteorológicas, área de ignición, etc.), para luego ponerse en funcionamiento y así predecir la línea de fuego en el instante de tiempo siguiente. Este esquema es representado en la Figura 2. En el mismo, M corresponde al modelo de comportamiento de incendios, el cual es considerado como una caja negra. ER_0 es el estado real del incendio en el tiempo t_0 (frente de fuego inicial), mientras que ER_1 se corresponde con el estado del frente de fuego real en el tiempo t_1 . Luego de aplicar los parámetros y ER_0 a M , el estado del frente de fuego predicho se representa a través de EP , el cual se espera



que coincida con ER1. Sin embargo, debido a la complejidad del modelo de comportamiento del fuego, este esquema de trabajo no suele ofrecer un resultado lo suficientemente aproximado a la realidad como para considerarlo una herramienta de trabajo confiable. Algunos ejemplos de predicción clásica son [5, 6, 7, 8, 9, 10, 11].

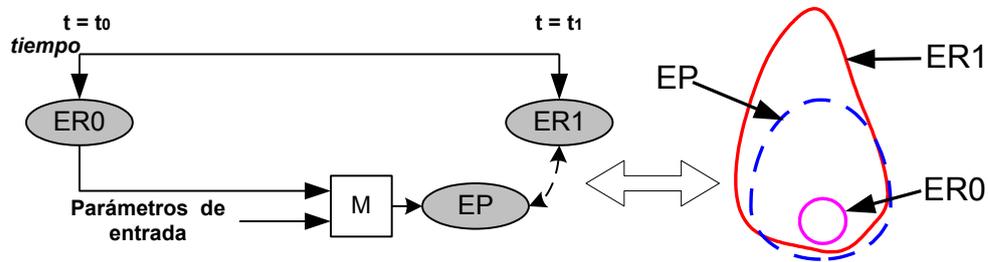


Figura N° 2. Diagrama esquemático para la Predicción Clásica (ERX: estado real en tiempo X, M: modelo, EP: estado propuesto por el modelo)

Una razón para dicha discrepancia entre la propagación real y la simulada proviene de la dificultad de alimentar al modelo con valores de entrada precisos.

Métodos Conducidos por Datos

Existen multiplicidad de algoritmos diseñados para examinar el espacio de búsqueda y hallar una solución a un problema, pero tales métodos no son robustos (por ej. Búsqueda exhaustiva, Búsqueda Local, Algoritmos Voraces, Divide y Vencerás, Ramificación y Poda, etc.). Además, los problemas cambian continuamente y por ende los algoritmos también deberían hacerlo.

Algunos de los algoritmos o estrategias mencionados garantizan hallar la solución, otros no, pero todos comparten algo en común: o garantizan hallar la solución global, a un costo muy alto (por ejemplo en tiempo de procesamiento) o tienen la tendencia a caer en un óptimo local.

Por lo expuesto, resulta de interés la aplicación de heurísticas modernas, las cuales son frecuentemente usadas en las geociencias (por ej. en la predicción del clima y en hidrología entre otras). En general, los métodos desarrollados [12, 13, 14, 15], operan sobre un gran número de valores de entrada y, por medio de algún tipo de optimización, se enfocan en la búsqueda de un único conjunto de valores que describa el comportamiento de la mejor manera posible. En otras palabras, el objetivo de la optimización es hallar un conjunto de valores, de forma tal que si estos valores se aplican al modelo en cuestión (que normalmente puede haber sido implementado en un simulador), sería posible describir correctamente el comportamiento previo, es decir, el comportamiento que ha sido utilizado para calibrar o hallar el conjunto de parámetros. Por lo tanto, normalmente se espera que el mismo conjunto de valores pueda ser utilizado para describir el comportamiento de un futuro



inmediato. A los sistemas que aplican este tipo de metodología se los conoce como Data Driven Methods (DDM) o Métodos Conducidos por Datos.

Esquemáticamente, los DDM operan sobre una etapa que llamaremos Etapa de Calibración (EC). En la Figura 3 puede apreciarse cómo los DDM trabajan sobre grandes cantidades de valores (diferentes combinaciones de entradas que producen diversos escenarios). Esta característica es la que explica el tiempo extra que requieren para poder computar toda la información.

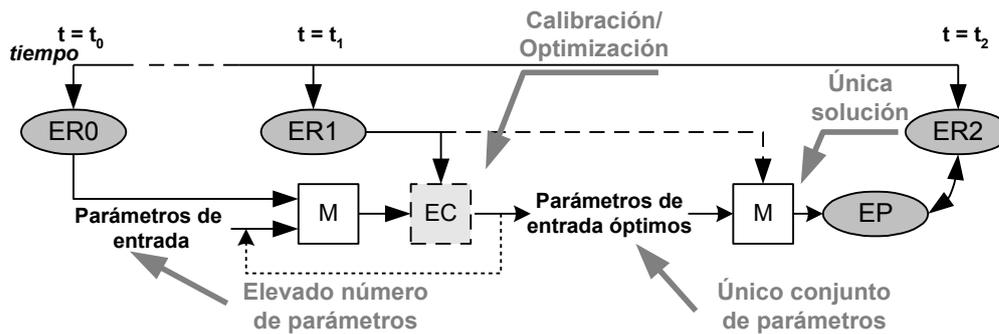


Figura N° 3. Diagrama esquemático de los Métodos Conducidos por Datos (ERX: estado real en tiempo X, M: modelo, EC: etapa de calibración, EP: estado propuesto por el modelo)

A continuación se describen algunos casos específicos de DDM aplicados al problema de la predicción del comportamiento de incendios forestales, entre ellos tres métodos de optimización heurísticos implementados bajo un esquema de procesamiento paralelo dentro del Black-Box Optimization Framework (BBOF) [12], el cual trabaja de forma iterativa avanzando paso a paso desde un conjunto inicial de conjeturas hasta llegar a un valor final que se espera se halle cercano a la realidad (en este caso, el conjunto de parámetros de entrada).

- **BBOF - Taboo Search:** La búsqueda tabú [16] es un algoritmo metaheurístico que puede utilizarse para resolver problemas de optimización combinatoria. La búsqueda tabú utiliza un procedimiento de búsqueda local o por vecindades para moverse iterativamente desde una solución x hacia una solución x' en la vecindad de x , hasta satisfacer algún criterio de parada. Para poder explorar regiones del espacio de búsqueda que serían dejadas de lado por el procedimiento de búsqueda local, la búsqueda tabú modifica la estructura de vecinos para cada solución a medida que la búsqueda progresa. Las soluciones admitidas para $N^*(x)$, que representa el nuevo vecindario, son determinadas mediante el uso de estructuras de memoria. La búsqueda entonces progresa moviéndose iterativamente de una solución x hacia una solución x' en $N^*(x)$.
- **BBOF - Simulated Annealing:** El enfriamiento simulado [17, 18] (o también conocido como 'Recocido Simulado' por el proceso de recocido de aceros y cerámicas) es una



técnica de búsqueda estocástica cuyo objetivo general es encontrar una buena aproximación al valor óptimo de una función en un espacio de búsqueda grande evitando quedar atrapado en óptimos locales. En cada iteración, el método evalúa algunos vecinos del estado actual s y probabilísticamente decide entre efectuar una transición a un nuevo estado s' o quedarse en el estado s . Normalmente la comparación entre estados vecinos se repite hasta que se encuentre un estado óptimo que minimice o maximice la función evaluada o hasta que se cumpla cierto tiempo computacional u otras condiciones.

- **BBOF - Genetic Algorithm:** Los Algoritmos Genéticos (AGs) [19] son métodos adaptativos que pueden usarse para resolver problemas de búsqueda y optimización. Están basados en el proceso genético de los organismos vivos. A lo largo de las generaciones, las poblaciones evolucionan en la naturaleza de acorde con los principios de la selección natural y la supervivencia de los más fuertes, postulados por Darwin [20].

Por imitación de este proceso, los Algoritmos Genéticos son capaces de ir creando soluciones para problemas del mundo real. La evolución de dichas soluciones hacia valores óptimos del problema depende en buena medida de una adecuada codificación de las mismas.

- **GLUE (Generalized Likelihood Uncertainty Estimations):** GLUE es un método estadístico para cuantificar la incertidumbre de las predicciones del modelo. El método fue introducido por Beven y Binley [21] para problemas hidrológicos. La idea básica es que dada la dificultad para representar exactamente en un modelo matemático el funcionamiento de la naturaleza, se supone que siempre habrá diferentes modelos que imiten correctamente un proceso natural observado. A esta 'igualdad aceptable' o 'modelos comportacionales' se la denomina también equifinalidad. En resumen, la metodología trata con modelos cuyos resultados pueden expresarse como distribuciones de probabilidad de los posibles resultados, a menudo en la forma de simulaciones de Monte Carlo [22], y el problema puede verse como la evaluación y comparación entre estos modelos. Una implementación orientada a la predicción de incendios forestales fue realizada en [23] y otra, siguiendo un esquema de procesamiento paralelo en [24].

Sin embargo, a pesar de que los casos comentados mejoran los resultados que se obtienen con la aproximación clásica, los DDM adolecen de un mismo problema: encuentran un único conjunto de valores, y para aquellos parámetros que cambian dinámicamente, el valor hallado en general no resulta de utilidad para describir correctamente el comportamiento del modelo en cuestión.



Métodos Conducidos por Datos con Solución Solapada Múltiple

Los dos métodos que se describen a continuación subsanan la unicidad del conjunto de parámetros de entrada de los DDM comentados anteriormente. Ambos métodos pertenecen a una nueva rama de DDM que realiza predicciones considerando el solapamiento de diversos casos o combinaciones de parámetros.

- Statistical System for Forest Fire Management:** El sistema S^2F^2M [25,26] se basa en un método estadístico sobre las simulaciones resultantes de un gran número de escenarios posibles, donde una cierta configuración de los valores de los parámetros de entrada es lo que define cada escenario particular. S^2F^2M busca un patrón del comportamiento del modelo sin realizar un análisis particular de cada escenario. Todos los posibles escenarios se generan en forma discreta considerando un cierto dominio a través de un experimento factorial [27] y el modelo es evaluado con cada conjunto de valores. Los resultados se combinan para determinar la tendencia en el comportamiento del modelo, ajustándolo con la observación actual del mismo. El patrón hallado es entonces considerado para la predicción del siguiente paso. Este esquema de trabajo requiere un importante número de operaciones, resultando muy demandante en tiempo de ejecución, razón por la cual se ha implementado bajo un esquema de cómputo paralelo/distribuido. En este esquema se utilizan múltiples recursos computacionales trabajando en paralelo utilizando el paradigma Master-Worker [28], debido a que un procesador principal puede calcular las combinaciones de parámetros y enviarlas así al conjunto de Workers, quienes trabajan sobre porciones de dominio diferentes. Por tal motivo, dadas las características del método, se ha clasificado en una nueva rama que extiende a la clasificación comentada previamente, la cual se ha dado en llamar Data Driven Methods with Multiple Overlapping Solution (DDMMOS) o Métodos Conducidos por Datos con Solución Solapada Múltiple.

En la Figura 4 se puede apreciar un esquema del sistema S^2F^2M . La etapa de calibración (EC) consta de una etapa estadística (EE) que se alimenta de los resultados parciales que ofrecen los Workers trabajando en paralelo, la etapa BK (búsqueda del valor clave Kign, un valor clave necesario para efectuar la predicción, que se utilizará en el siguiente tiempo de predicción) que se encarga de hallar un patrón de comportamiento del modelo, y de una función de fitness (FF) que sirve para evaluar la aptitud de los resultados. La salida de BK en tiempo t_i se combina con la salida de EE en tiempo t_{i+1} para generar la predicción en la etapa FP. Es importante notar que la calibración para el instante de tiempo t_{i+1} se solapa en t_i con los cálculos de predicción.

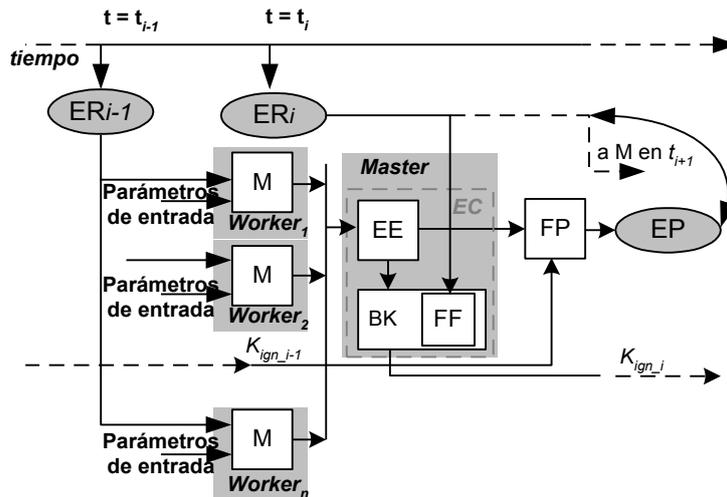


Figura N° 4. Diagrama esquemático del sistema S^2F^2M (ERX: estado real en tiempo X, M: modelo, EC: etapa de calibración, EE: etapa estadística, BK: búsqueda de K_{ign} , FF: función Fitness, FP: etapa de predicción, EP: estado propuesto por el modelo)

- Evolutionary-Statistical System:** Este método combina la fortaleza de cuatro componentes: reducción de incertidumbre, estadística, algoritmos evolutivos y paralelismo, el cual se ha dado en llamar Sistema Estadístico Evolutivo (o Evolutionary-Statistical System, ESS) [29]. Corresponde a una mejora del método S^2F^2M relacionada con la introducción de características de Algoritmos Evolutivos Paralelos [19] en la etapa de calibración. Como se ha visto, la etapa estadística de la metodología agrupa todos los resultados de una serie de casos que surgen como combinación de los posibles valores resultantes (dentro de rangos válidos) de los parámetros que exhiben incertidumbre. Es claro que existe un cierto porcentaje de casos que no aportan un valor significativo al resultado, ya sea por resultar redundantes, o porque se alejan demasiado de la realidad. Para resolver este problema es que se ha decidido aplicar algoritmos evolutivos (AEPs), los cuales son métodos de optimización y búsqueda de soluciones inspirados, como los AGs, en los postulados de la evolución biológica. En ellos se mantiene un conjunto de entidades que representan posibles soluciones, las cuales se mezclan, y compiten entre sí, de tal manera que las más aptas son capaces de prevalecer a lo largo del tiempo, evolucionando hacia mejores soluciones cada vez.

Como puede observarse en la Figura 5, el sistema está dividido en dos etapas generales: una Etapa de Optimización (EO) que implementa el Algoritmo Evolutivo Paralelo (caja AEP), y una Etapa de Calibración (EC) que se encarga de la aplicación del método estadístico. EO itera hasta que la población ha alcanzado cierto nivel de calidad. Entonces se aplica cada individuo a M y se calcula su valor de fitness en paralelo. Esto es debido a que se cuenta con dos clases de etapas AEP: la arquitectura de ESS está basada en el paradigma Master-Worker. En cada iteración, el Master distribuye un individuo por Worker; la simulación del modelo y la evaluación del fitness se aplican sobre cada individuo (tareas llevadas a cabo por los Workers),



retornando los resultados al Master. Este proceso se repetirá hasta que cada individuo en la población haya sido tratado.

Finalmente, el AEP del Master evoluciona la población. Estos resultados agregados constituyen la entrada de la Etapa Estadística (caja EE). Similarmente a S^2F^2M , la salida de EE (un mapa de probabilidad) tiene un doble propósito. Por una parte, los mapas de probabilidad se utilizan como entrada de la etapa BK (búsqueda de K_{ign}) para hallar el valor actual de K_{ign} (un valor clave necesario para efectuar la predicción), que se utilizará en el siguiente tiempo de predicción. En esta etapa, se utiliza una función de fitness (FF) para evaluar el mapa de probabilidad. Por otra parte, la salida de EE también ingresa a la etapa de predicción (FP), quien se encargará de generar el mapa de predicción tomando en consideración el K_{ign} hallado en un tiempo previo. Todo este proceso se repetirá mientras el sistema sea alimentado con información acerca de los distintos estados del modelo a lo largo del tiempo.

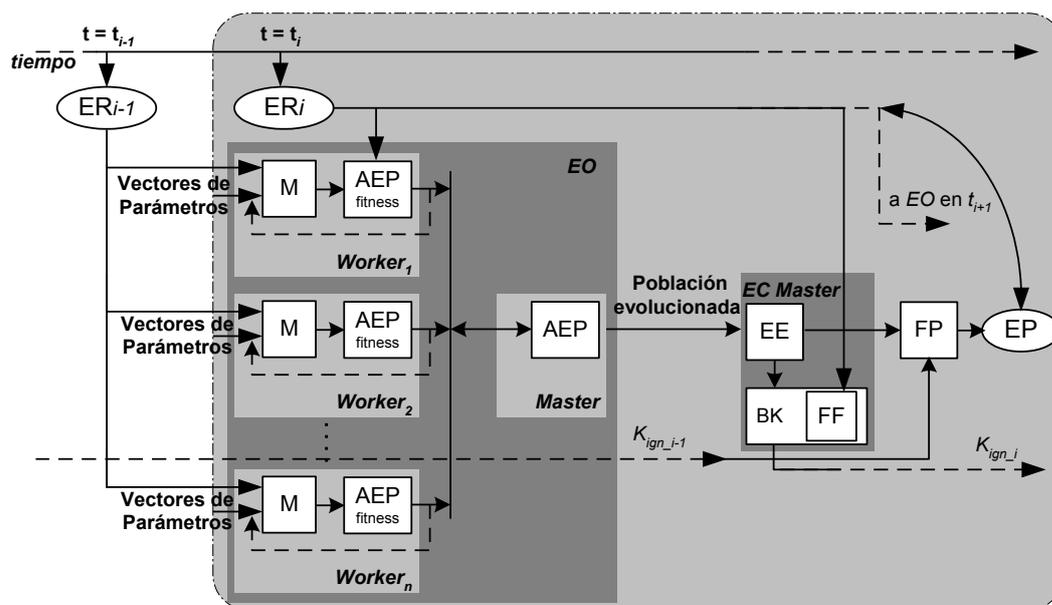


Figura N° 5. Diagrama esquemático del método estadístico-evolutivo (ERX: estado real en tiempo X, M: modelo, EO: etapa de optimización, EC: etapa de calibración, AEP: algoritmo evolutivo paralelo, EE: etapa estadística, BK: búsqueda de K_{ign} , FF: función Fitness, FP: etapa de predicción, EP: estado propuesto por el modelo)

Sintonización de rendimiento-Diseño de experimentos

La Sintonización de una aplicación constituye el proceso por el cual el comportamiento y el funcionamiento del programa se mejora o ajusta de acuerdo a las características del problema, del estado del entorno de ejecución, el conjunto de datos de entrada, etc., de forma tal de alcanzar una ejecución más eficiente en términos de utilización de recursos y de tiempo de ejecución esperado. El proceso de sintonización abarca varias fases sucesivas: instrumentación del código para recolectar información, monitorización de dicha



información, análisis de las métricas recolectadas y modificación de la aplicación. Si bien toda aplicación -sea esta secuencial o paralela- puede someterse al proceso de sintonización, la teoría y la tecnología de sintonización de software se ha desarrollado en fuerte conexión con la computación de alto rendimiento (High Performance Computing o HPC, por sus siglas en inglés), dada la demanda de mayor poder computacional tanto por parte de la ciencia computacional como de la ingeniería, y soportada por un incesante progreso de la tecnología de las arquitecturas de hardware de alto rendimiento [30, 31]. Dado que el cómputo de alto rendimiento es uno de los pilares del sistema ESS presentado en este trabajo, resulta oportuno sintonizar en este caso el comportamiento del algoritmo, a fin de lograr una mejor ejecución a la vez que se ajuste el método para obtener una predicción más adecuada a la realidad. En este trabajo, se presenta una primera aproximación a la sintonización del sistema ESS. Para ello se ha seguido una aproximación clásica de sintonización, es decir que las mediciones, análisis y modificaciones han sido realizadas directamente sobre el programa, de forma estática:

- **Instrumentación:** el programa es aumentado con sentencias adicionales, insertadas con fines de recolección de información, detección de eventos, etc.
- **Monitorización:** cuando la ejecución del programa llega a las sentencias correspondientes a la instrumentación, se obtiene y recolecta la información necesaria y se sistematiza, en este caso, en un archivo de traza. En dicho archivo se almacena la información recolectada a lo largo de toda la ejecución de la aplicación, para su posterior análisis.
- **Análisis:** al finalizar la ejecución del programa, los datos obtenidos durante la monitorización están disponibles para ser analizados. Es decir que se realiza un análisis *post-mortem*. Dicho análisis puede involucrar más de una ejecución. En función de los resultados y de acuerdo a los criterios de evaluación considerados, se señalan posibles cambios para mejorar el comportamiento del programa.
- **Sintonización:** Se modifica el programa según lo estipulado en la etapa de análisis. En ocasiones, la modificación sólo afecta a valores de parámetros, mientras que en otras oportunidades es necesario modificar el algoritmo y/o la instrumentación.

Cabe señalar que la sintonización clásica requiere de la repetición de experimentos bajo diversas condiciones que permitan proveer a la etapa de análisis con información adecuada para la toma de decisiones. Es por ello que a partir de un conjunto de ejecuciones de la aplicación con diferentes parámetros de funcionamiento (y en consecuencia un conjunto de archivos de traza), finalmente se concluye cuál es la mejor combinación de parámetros que permita sintonizar el funcionamiento del programa a las características del entorno de ejecución. Más abajo se detalla cada uno de los parámetros que se sometieron a variación, y en la sección de resultados se documentan los valores alcanzados. La valoración de cada ejecución que se realiza a nivel de fase de análisis, toma como parámetros de comparación el tiempo de ejecución, la calidad de la predicción obtenida (dada por el valor de *fitness*) y la velocidad con la que se alcanza el resultado (en términos de cantidad de generaciones y



simulaciones necesarias para calibrar la predicción). Ello permite apreciar la utilidad de incorporar características evolutivas al método, en tanto reduce el espacio de búsqueda y la consecuente obtención de un resultado.

Si bien los AEs poseen gran cantidad de parámetros de funcionamiento, el análisis debe limitarse a la variación controlada de ciertos parámetros predeterminados que resulten de interés al aspecto que se desea calibrar. Ello es debido a que cada ejecución de experimentos resulta costosa y a su vez la variación de cada parámetro puede incidir notablemente en el comportamiento de la aplicación. Es por ello que las variaciones se realizan sobre un sólo parámetro a la vez, para finalmente encontrar una combinación de parámetros más ajustada. La interdependencia de parámetros es objeto de trabajo futuro, así como también la definición de modelos de comportamiento determinado por la interrelación de parámetros, que a futuro puedan utilizarse como conocimiento para automatizar la fase de sintonización. Para el presente trabajo se ha seleccionado un subconjunto de parámetros de forma tal de sintonizar el funcionamiento global del algoritmo [32]:

- **Umbral de Fitness:** indica la calidad mínima esperada en la solución que arroje el algoritmo en al menos un individuo. Cuanto menor sea el umbral, la solución será encontrada más rápidamente, a riesgo de encontrar una solución muy distante de la óptima. Por el contrario, umbrales muy elevados dificultan la convergencia a una solución.
- **Tamaño de la Población:** el tamaño de la población afecta tanto al rendimiento como a la eficiencia del algoritmo evolutivo. Ante poblaciones muy pequeñas, los AEs suelen resultar inútiles dada la poca variedad en la muestra de individuos. Al crecer el tamaño de la población, se cuenta con mayor variedad de puntos del espacio de búsqueda, a costa de aumentar la cantidad de evaluaciones necesarias, frenar la velocidad de convergencia, e incluso incrementando la probabilidad de estancamientos en óptimos locales.
- **Cantidad de Iteraciones:** controla el nivel de evolución de la población. Mientras menor sea el número de iteraciones, más rápido terminará el programa a costa de una baja exploración del espacio de búsqueda dada por la poca evolución de la población. Por el contrario, un número elevado de iteraciones puede provocar grandes pérdidas de tiempo cuando la búsqueda no está bien orientada o la tasa de migración no es suficiente para ampliar la búsqueda. En este caso de estudio, se limita el número de iteraciones por paso de simulación, a fin de que el algoritmo procese una cantidad de escenarios a lo sumo equiparable a la cantidad que se procesaría sin la etapa de calibración evolutiva del método ESS.

La incidencia de cada uno de estos parámetros es considerada para encontrar la mejor combinación de valores que permitan alcanzar mejores resultados en forma más eficiente. En el caso particular de la aplicación del método a la predicción de incendios forestales, permitirá ponderar la utilidad de cada parámetro en la búsqueda de una línea de fuego que prediga más fielmente y de forma más concisa el comportamiento real del incendio.



RESULTADOS

En esta sección se presentan los experimentos y resultados obtenidos para un caso real de estudio. Para tal propósito se ha utilizado la información correspondiente a la parcela denominada Plot533, correspondiente a una sección de terreno destinada a quemas controladas efectuadas en el campo, en particular en Serra de Louçã (Gestosa, Portugal). La parcela cuenta con un ancho de 95 metros, un largo de 123 metros y una pendiente de 21°. A lo largo del desarrollo de las quemas, se definieron pasos discretos para representar el avance del frente de fuego. Por lo tanto, se consideran distintos instantes de tiempo t_0 , t_1 , t_2 ... etc. Para este trabajo particular, dicha discretización es la que posibilita la aplicación de la etapa de calibración de la predicción del sistema ESS (EC en la Figura 5). Los experimentos se realizaron partiendo de la base de una configuración clásica de parámetros: 200 individuos en la población, 80% de criadores, 60% de probabilidad de cruzamiento, 50% de probabilidad de mutación, 200 iteraciones máximo por paso. La semilla para generar números aleatorios se dejó fija de modo de lograr experimentos más equiparables en cuanto a similaridad de casos. Como se mencionó anteriormente, se realizaron sucesivos experimentos variando el valor de un único parámetro por vez. Los resultados obtenidos se presentan en las Tablas I, II y III. En cada columna de dichas tablas se documentan los aspectos más relevantes a este trabajo:

- **Caso de estudio:** la primera columna identifica el experimento realizado, y el tipo de parámetro que se varió (umbral, población o iteraciones).
- **Tiempo de ejecución:** indica el tiempo (expresado en segundos) que se tarda en realizar el experimento.
- **Velocidad de convergencia:** contabiliza la cantidad de simulaciones diferentes que se realizaron a fin de obtener los resultados arrojados.
- **Calidad de predicción:** representa la calidad promedio de la predicción realizada por el método. Resulta de utilidad a la hora de comparar la calidad global de los diferentes experimentos.
- **Paso 1, ..., Paso 4:** las últimas cuatro columnas constituyen información complementaria a la columna "Calidad de predicción" dado que a partir de sus valores específicos se calcula el promedio. En ellas se discrimina la calidad de predicción alcanzada por el método ESS en cada uno de los pasos de simulación, es decir para cuatro instantes de tiempo predefinidos.

Umbral	Tiempo de Ejecución	Velocidad de Convergencia	Calidad de Predicción	Paso 1	Paso 2	Paso 3	Paso 4
0,55	183.882358	1600	0,397754	0,36409	0,39521	0,386855	0,44486
0,6	375.483171	4000	0,470107	0,374214	0,467302	0,533749	0,505163
0,65	1771.805855	40800	0,560218	0,507692	0,556782	0,601804	0,574595
0,7	1804,738509	41800	0,529901	0,507692	0,556782	0,46036	0,594771
0,73	1813.430580	43000	0,578395	0,507692	0,545578	0,662806	0,597502
0,75	7266,791839	160200	0,690629	0,654605	0,716854	0,721223	0,669834
0,77	7301,521006	163000	0,702796	0,654605	0,716854	0,721223	0,718502
0,8	7767,837747	200000	0,702796	0,654605	0,716854	0,721223	0,718502
0,85	7795,684511	200000	0,702796	0,654605	0,716854	0,721223	0,718502

Tabla I. Resultados obtenidos al variar el umbral de fitness. (Tiempo expresado en segundos).



Tamaño Pob.	Tiempo de Ejecución	Velocidad de Convergencia	Calidad de Predicción	Paso 1	Paso 2	Paso 3	Paso 4
50	1467.113662	14450	0,564108	0,470968	0,629565	0,525128	0,630769
75	3199.063588	60150	0,663458	0,635379	0,711538	0,677316	0,629597
100	4223.299043	83400	0,696012	0,688312	0,718121	0,72205	0,655565
125	5433.940280	122125	0,554085	0,23913	0,694143	0,65897	0,624096
150	6473.469596	120150	0,674066	0,704167	0,633663	0,661429	0,697005
175	6616.830495	146300	0,720124	0,755102	0,71619	0,72381	0,685393
200	7266.791839	160200	0,690629	0,654605	0,716854	0,721223	0,669834
300	6609.219695	248400	0,702796	0,654605	0,716854	0,721223	0,718502
400	9673.281719	293200	0,700928	0,730612	0,706573	0,703404	0,663121
500	9412.967396	353000	0,702811	0,654616	0,716831	0,721229	0,718571

Tabla II. Resultados obtenidos al variar el tamaño de la población (Tiempo expresado en segundos).

Iterac.	Tiempo de Ejecución	Velocidad de Convergencia	Calidad de Predicción	Paso 1	Paso 2	Paso 3	Paso 4
100	3365.813957	79000	0,692095	0,699153	0,697826	0,711921	0,659478
150	4907.613884	122000	0,687837	0,717213	0,672269	0,704545	0,657321
200	7266.791839	160200	0,690629	0,654605	0,716854	0,721223	0,669834
250	6998.951520	111800	0,580086	0,240682	0,714617	0,743134	0,621912
300	8109.458388	191400	0,706197	0,7375	0,722892	0,671545	0,692849
400	9727.599406	164200	0,613422	0,39834	0,664122	0,724913	0,666314
500	12426.756830	323400	0,709407	0,7375	0,728311	0,708609	0,663206

Tabla III. Variación de la cantidad de iteraciones por paso de simulación. (Tiempo expresado en segundos).

Del análisis de los resultados de la Tabla I, se desprende que si bien con el aumento del umbral de fitness la calidad de las predicciones va en incremento, también se incrementa notablemente el tiempo de ejecución, dado que alcanzar las mejoras requiere mayor búsqueda. Sin embargo, también puede observarse que a pesar de dicho incremento en el tiempo de ejecución, la calidad alcanzada se estanca alrededor de un valor de 0,70 posiblemente debido a que se exploran todos los escenarios posibles contemplados por el método sin hallar resultados más favorables. De forma similar, en la Tabla II puede observarse que el crecimiento de la población penaliza notablemente el tiempo sin arrojar mejoras considerables en la calidad de la predicción, resultando 175 el tamaño de población con mejores resultados. Finalmente, la Tabla III muestra resultados muy similares entre sí en cuanto a la calidad, con lo cual pueden señalarse los casos con 200 y 300 iteraciones como los más adecuados en función de los tres aspectos evaluados. Teniendo en cuenta estos resultados, se diseñaron dos nuevos experimentos en los que se sintonizaron los parámetros considerados en el estudio: por un lado el caso (A) definido con un Umbral de fitness de 0,77, población de tamaño 300 y 300 iteraciones máximo por paso de simulación; y por otro lado el caso (B) definido también con un Umbral de fitness de 0,77, pero con una población de tamaño 175 y 200 iteraciones máximo por paso de simulación. De los resultados obtenidos (y presentados en la Tabla IV), puede observarse que en ambos casos se logra equiparar los mejores casos de los experimentos anteriores, con una diferencia mínima entre sí en calidad pero notable en tiempo de ejecución y velocidad de convergencia. Es claro que incluso una pequeña variación en algún parámetro ocasiona resultados diferentes, con lo cual la sintonización de los mismos resulta crucial.



Caso	Tiempo de Ejecución	Velocidad de Convergencia	Calidad de Predicción	Paso 1	Paso 2	Paso 3	Paso 4
A	13806.839247	382200	0,7183	0,716102	0,734411	0,716612	0,706074
B	7207.637566	149800	0,692258	0,713147	0,637809	0,718543	0,699531

Tabla IV. Resultados obtenidos para los casos de estudio con parámetros sintonizados.

CONCLUSIONES

En el presente trabajo, se ha efectuado un análisis de la calibración de los parámetros pertenecientes a la etapa del sistema ESS que opera con algoritmos evolutivos. El análisis de los parámetros de funcionamiento de un algoritmo evolutivo es un proceso obligado en su utilización, dado que su efectividad y comportamiento resultan muy dependientes del problema. En concreto, se tomaron en consideración parámetros tales como el umbral de fitness, el tamaño de la población y el número máximo de iteraciones. A partir de la experimentación realizada se concluye que una configuración adecuada para el caso de estudio se corresponde en términos generales con los valores estipulados como clásicos (se consideran valores de parámetros clásicos a aquellos que funcionan para la mayoría de los problemas de aplicación, permitiendo alcanzar soluciones que al menos satisfagan los requerimientos mínimos de calidad). Más allá de esto, resulta de gran interés ver el impacto que produce en la salida del sistema (tanto en lo referente a la calidad de la predicción como así también en el rendimiento del mismo) la variación de los parámetros bajo análisis, lo cual demuestra la importancia de la etapa de sintonización en sistemas de esta clase.

REFERENCIAS

- [1] A. Shiflet, G. Shiflet, 2006, Introduction to Computational Science - Modeling and Simulation for the Sciences, Princeton University Press.
- [2] P. Morgan, C. Hardy, T.W. Swetnam, M.G. Rollins, D.G. Long, 2001, Mapping fire regimes across time and space: Understanding coarse and finescale fire patterns, International Journal of Wildland Fire, 10, 329-342.
- [3] El Diario del Fin del Mundo, Sector Este controlado, el Oeste sigue complicado, <http://www.eldiariodelfindelmundo.com/noticias/leer/40784/sector-este-controlado-el-oeste-sigue-complicado.html> (Accedido en octubre de 2012).
- [4] M.A. Cochrane, 2002, Se extienden como un reguero de pólvora, Publicado por el Programa de las Naciones unidas para el Medio Ambiente (PNUMA).
- [5] G.L. Ball, D.P. Guertin, 1991, FIREMAP – fire and the environment: ecological and cultural perspectives, March 20-24 1990, Knoxville, TN, USDA Forest Service, pp, 215-218, (Asheville, NC,).
- [6] G. Wallace, 1993, A numerical fire simulation model, Int, J, Wildland Fire, 3 (2), 111-116.
- [7] M.A. Finney, 1998, FARSITE: Fire Area Simulator-model development and evaluation, Res, Pap, RMRS-RP-4, U,S, Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station, pp, 47, (Ogden, UT,).



- [8] J. Jorba, T. Margalef, E. Luque, J. Campos da Silva, D.X. Viegas, 1999, Parallel Approach to the Simulation of Forest Fire Propagation, Proc, 13 International Symposium 'Informatik fur den Umweltshutz' der Gesellschaft Fur Informatik (GI), pp, 68-81.
- [9] P.L. Andrews, C.D. Bevens, R.C. Seli, 2003, BehavePlus Fire Modeling System, Version2,0: User's Guide, Gen, Tech, Rep, RMRS-GTR-106WWW, Department of Agriculture, ForestService, Rocky Mountain Research Station, Ogden, UT, 2003, pp,132.
- [10] A.M.G. Lopes, M.G. Cruz, D.X. Viegas, 2002, FireStation - An integrated software system for the numerical simulation of wind field and fire spread on complex topography, Environmental Modelling & Software, 17 (3), 269-285.
- [11] L.M. Ribeiro, D.X. Viegas, A.G. Lopes, P. Mangana, P. Moura, 2006, Operational application of a decision support tool in fire management in Portugal, Forest Ecology and Management, 234 (Supplement 1), S243.
- [12] B. Abdalhaq, 2004, A methodology to enhance the Prediction of Forest Fire Propagation, Ph, D Thesis, Universitat Autònoma de Barcelona (Spain).
- [13] K.J. Beven, J. Freer, 2001, Equifinality, data assimilation, and uncertainty estimation in mechanistic modelling of complex environmental systems, Journal of Hydrology, 249, 11-49,
- [14] J. Mandel, L.S. Bennethum, M. Chen, J.L. Coen, C.C. Douglas, L.P. Franca, C.J. Johns, M. Kim, A.V. Knyazev, R. Kremens, V. Kulkarni, G. Qin, A. Vodacek, J. Wu, W. Zhao, A. Zornes, 2005, Towards a Dynamic Data Driven Application System for Wildfire Simulation, LNCS, 3515, 632-639.
- [15] S. Thorndahl, K.J. Beven, J.B. Jensen, K. Schaarup-Jensen, 2008, Event based uncertainty assessment in urban drainage modelling, applying the GLUE methodology, Journal of Hydrology, 357 (3-4), 421-437.
- [16] F. Glover, M. Laguna, 1997, Tabu Search, Kluwer Academic Publishers, Boston.
- [17] S. Kirkpatrick, C.D. Gelatt, M.P. Vecchi, 1983, Optimization by Simulated Annealing, Science, 220 (4598), 671-680.
- [18] V. Černý, 1985, Thermodynamical approach to the traveling salesman problem: An efficient simulation algorithm, Journal of Optimization Theory and Applications, 45, 41-51.
- [19] D.E. Goldberg, 1994, Genetic and evolutionary algorithms, Come of age, Communications of the ACM, 37(3), 113-119.
- [20] C. Darwin, 1859, On the Origin of Species by Means of Natural Selection, Murray, London,
- [21] K. Beven, A. Binley, 1992, The future of distributed models: model calibration and uncertainty prediction, Hydrological Processes, 6, 279-298.
- [22] C.P. Robert, G. Casella, 2004, Monte Carlo Statistical Methods, Springer.
- [23] J. Piñol, R. Salvador, K. Beven, 2002, Model Calibration and uncertainty prediction of fire spread, Forest Fire Research & Wildland Fire Safety, On CD-ROM, Millpress.
- [24] G. Bianchini, 2006, Wildland Fire Prediction based on Statistical Analysis of Multiple Solutions, Ph, D Thesis, Universitat Autònoma de Barcelona (Spain).



- [25] G. Bianchini, M. Denham, A. Cortés, T. Margalef, E. Luque, 2010, Wildland Fire Growth Prediction Method Based on Multiple Overlapping Solution, *Journal of Computational Science (JOCS)*, 1 (4), 229-237.
- [26] G. Bianchini, M. Denham, A. Cortés, T. Margalef, E. Luque, 2006, Improving forest-fire prediction by applying a statistical approach, *Forest Ecology and Management*, 234 (supplement 1), p,5210.
- [27] D. Montgomery, G. Runger, 2002, *Probabilidad y Estadística aplicada a la ingeniería*, Limusa Wiley.
- [28] T. Mattson, B. Sanders, B. Massingill, 2004, *Patterns for Parallel Programming*, Addison-Wesley.
- [29] G. Bianchini, P. Caymes Scutari, 2011, Uncertainty Reduction Method Based on Statistics and Parallel Evolutionary Algorithms, *Proceedings of High-Performance Computing Symposium - 40 JALIO (HPC 2011, ISSN: 1851-9326)* pp, 1- 4.
- [30] K. Naono, K. Teranishi, J. Cavazos, R. Suda, 2010, *Software Automatic Tuning - From Concepts to State-of-the-Art Results*, Springer.
- [31] R. Buyya, 1999, *High Performance Cluster Computing - Architectures and Systems*, Prentice Hall.
- [32] J. Grefenstette, 1986, Optimization of Control Parameters for Genetic Algorithms, *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics*, 16 (1), 122-128.



Cambia tus hábitos, no el clima. Manual de aplicación docente frente a la lucha contra el Cambio Climático en Mendoza*

Tania Bilbao (1), Peter Thomas (1)

1) Instituto de Ciencias Ambientales, Universidad Nacional de Cuyo.
Espacio de la Ciencia y la Tecnología. Calle Padre Contreras 1300. Mendoza Argentina.
Teléfono: (0261) 4299986 - www.imd.uncu.edu.ar- ica@uncu.edu.ar,
tania.ica@gmail.com, peterthomas20@gmail.com

RESUMEN

Los problemas vinculados al Cambio Climático, así como los compromisos internacionales para su mitigación han tomado protagonismo en la última década. Por este motivo fue creada en el año 2008 la Agencia de Cambio Climático en la Secretaría de Medio Ambiente, provincia de Mendoza. A pesar de las reiteradas preocupaciones, la disponibilidad de material educativo local continúa siendo escasa. En este sentido, el Instituto de Ciencias Ambientales de la Universidad Nacional de Cuyo (ICA, UNCUYO) lleva adelante el programa de Educación Ambiental abocado a difundir la problemática ambiental, generar conciencia y diseñar material educativo adaptando al enfoque local de un problema global. En el mismo, se desarrollaron 2 soportes didácticos complementarios basados en estrategias de comunicación ambiental:

- Póster: “Mendoza es tu casa. Ayuda al Cuyún en la lucha contra el Cambio Climático”.
- Manual: “Cuyún en la escuela, cambia tus hábitos no el clima. Manual para el docente en Mendoza”.

Ambos materiales destinados a establecimientos educativos, docentes, estudiantes y público en general son protagonizados por un personaje llamado Cuyún, declarado mascota oficial del medio ambiente en Mendoza. Para la elaboración se conformó un equipo de trabajo con representantes de diferentes instituciones y profesiones, coordinado por el ICA-UNCUYO.

El Manual brinda información sobre el marco geográfico de Mendoza, impactos más severos del Cambio Climático, energías renovables, recursos hídricos, Biodiversidad, manejo de residuos, marco normativo. Destaca hábitos y comportamientos del ser humano, tecnologías adecuadas y políticas perdurables. Asimismo, sugiere actividades para realizar en el aula.

Como resultados se destaca la relevancia de abordar temas complejos mediante el compromiso de equipos interinstitucionales e interdisciplinarios, del cual surgieron nuevos horizontes de trabajo. Se imprimieron en una primera instancia 2.000 ejemplares, los cuales serán entregados a escuelas en coordinación con la Dirección General de Escuelas de la Provincia, acompañados de capacitaciones para docentes. Tanto el Póster como el Manual recibieron premios y reconocimientos.

Este trabajo participa en el “concurso para jóvenes investigadores”.



INTRODUCCIÓN

Los nuevos escenarios en relación al Cambio Climático marcan la necesidad de responder adecuadamente a los grandes desafíos que se presentan. La sensibilización y formación de una conciencia ambiental debe ser labor cotidiana tanto para niños como adultos, con el objetivo de modificar hábitos y fortalecer conductas respetuosas del ambiente en pos de un futuro sustentable.

La “Estrategia Nacional de Cambio Climático” recientemente presentada en nuestro país subraya la “necesidad de hacer frente de manera coordinada y eficiente a los desafíos que implica la problemática del Cambio Climático”[1], mencionando la educación ambiental como un pilar clave para el logro de este objetivo.

En este sentido, el Instituto de Ciencias Ambientales de la Universidad Nacional de Cuyo (ICA, UNCUYO) lleva adelante el proyecto “Cuyún: Protección del clima y lucha contra el Cambio Climático. Herramientas de educación y comunicación ambiental de aplicación docente”. El mismo surge a partir de la escasa disponibilidad de material didáctico educativo de aplicación local sobre el tema.

En mencionado proyecto, se desarrolló en una primera instancia, un Póster denominado “Mendoza es tu casa. Ayuda a Cuyún en la lucha contra el Cambio Climático”. De manera complementaria se trabajó en un segundo material, el Manual para docentes: “Cuyún en la escuela, cambia tus hábitos no el clima. Manual para el docente en Mendoza”. Ambos soportes didácticos son protagonizados por un personaje llamado Cuyún, declarado mascota oficial del medio ambiente en Mendoza.

El Manual brinda información sobre el marco geográfico de Mendoza, impactos más severos del Cambio Climático, energías renovables, recursos hídricos, Biodiversidad, manejo de residuos, marco normativo, destacando hábitos y comportamientos del ser humano, tecnologías adecuadas y políticas perdurables. Asimismo, sugiere actividades para realizar en el aula y sitios web afines de utilidad para el docente.

El proyecto busca promover una responsabilidad ciudadana comprometida con el entorno natural y sociocultural, mediante la aplicación de herramientas de comunicación y educación ambiental adecuadas frente al Cambio Climático.



DESARROLLOS Y MÉTODOS

El contexto del Cambio Climático

El Cambio Climático representa uno de los mayores desafíos ambientales que involucra a toda la humanidad. Según señala el Panel Intergubernamental de Expertos de Cambio Climático (IPCC), existen evidencias de que la tierra está experimentando un cambio global, producto del aumento de concentración de gases antropogénicos en la atmósfera terrestre, especialmente CO₂ proveniente de la quema de combustibles fósiles. Este efecto antropogénico, se diferencia de la Variabilidad Natural del Clima, en la cual se producen cambios constantemente debido a causas naturales.

El Cambio Climático Global se caracteriza, precisamente, por un conjunto de condiciones entre las que se cuentan:

- La elevada complejidad de los problemas bajo análisis.
- La existencia de la incertidumbre con respecto a la evolución del problema y sus impactos.
- Los daños potencialmente irreversibles y los costos crecientes de mitigación y remediación.
- El aumento de las emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) y los impactos del Cambio Climático, así como los cambios en el uso del suelo.
- La amplia variación regional de las condiciones ecológicas, así como de los efectos del Cambio Climático, que pueden ser acumulativos, incrementales e irreversibles.
- La necesidad de minimizar la vulnerabilidad y tomar medidas de mitigación y adaptación antes los escenarios cambiantes.

Estas condiciones se combinan de modo tal que hacen necesario el diseño y la implementación de políticas públicas que enfrenten los desafíos que el Cambio Climático propone y, a la vez, requiere una activa y consciente participación de toda la sociedad, para evitar conductas que tiendan a entorpecer la implementación de las soluciones propuestas.

Ante la necesidad de actuar para hacer frente a esta problemática, la comunidad internacional adoptó en 1992, la Convención Marco de Naciones Unidas sobre Cambio Climático (CMNUCC), la cual fue ratificada por nuestro país en 1993 a través de la ley 24.295, entrando finalmente en vigor en 1994. Dicho instrumento tiene por objeto estabilizar las concentraciones de gases de efecto invernadero (GEIs) en la atmósfera a un nivel que impida interferencias antropógenas peligrosas en el sistema climático.

Posteriormente, en 1997, se adoptó el Protocolo de Kyoto, a fin de ahondar los compromisos asumidos bajo la CMNUCC. Fue ratificado por nuestro país en el año 2001 por medio de la ley 25.438. El Protocolo establece compromisos cuantitativos de reducción y/o limitación de



emisiones de GEIs para los países desarrollados para un primer período de compromisos que va de 2008 a 2012.

A nivel provincial, en el año 2008 se creó desde la Secretaría de Medio Ambiente del Gobierno de Mendoza, la Agencia de Cambio Climático. La misma cuenta con un Consejo Asesor formado por diversos sectores, que recomendará al gobierno las políticas a seguir frente a esta temática.

Antecedentes del proyecto

En el año 1998, el Instituto de Cartografía, Investigación y Formación para el Ordenamiento Territorial (CIFOT- UNCUYO) desarrolló un Póster educativo: “Mendoza es tu naturaleza. Sé tú como el Cuyún” (Figura nº 1). El mismo brinda información sobre las problemáticas ambientales de Mendoza, a través del reconocimiento de las condiciones geográficas de la Provincia y acompañadas por un personaje encargado de indicar los buenos y malos comportamientos. En la búsqueda del personaje se creó a “Cuyún”; un nombre resultando de la combinación entre, “Cullunche” que significa “la gente de la tierra arenosa o del país de las arenas”, y “Cuyum” (tierra o país de las arenas), asimismo el nombre “Cuyo”, se refiere a la región que une San Juan, San Luis y Mendoza y que significa “tierra o país arenoso”. Cuyún fue declarado mascota oficial del medio ambiente en Mendoza. En este proyecto se imprimieron 40.000 ejemplares.



Figura N°1: Personaje “Cuyún” y Póster publicado en el año 1998

En el año 2009, el Instituto de Ciencias Ambiental (ICA-UNCUYO) retoma la idea original del CIFOT, proponiendo la actualización de los contenidos del Póster, frente a la problemática del Cambio Climático y la actual situación de los problemas ambientales de la Provincia. Este nuevo material se denominó “Póster: Mendoza es tu casa. Ayuda a Cuyún en la lucha contra el Cambio Climático” (Figura N° 2).



La reciente creación de la Agencia de Cambio Climático, así como la sanción de la Ley N° 8051/09 de Ordenamiento Territorial y Usos del Suelo, marcaron un escenario para reafirmar la lucha de Cuyún en apoyo de estas causas. Para ello, se trabajó en efectuar cambios en la imagen original de Cuyún, a fines de actualizar la presencia de la mascota, según las nuevas formas e identificaciones utilizadas en los medios de comunicación. Se propuso una representación más tridimensional, así como el territorio más vinculado a la problemática global.

El Póster refleja los siguientes aspectos específicos:

- 1) El marco geográfico y la inserción (geográfico-física) de la Provincia en el territorio a nivel regional, continental y global.
- 2) Los hechos, comportamientos y hábitos del ser humano (y del mendocino en particular) que causan y contribuyen al Cambio Climático a nivel global y local.
- 3) Los efectos del Cambio Climático que afectan directa e indirectamente al entorno natural y antrópico de los mendocinos.
- 4) Las posibilidades que tiene cada mendocino mediante actitudes, hábitos y buenas prácticas de hacer frente al avance del Cambio Climático.
- 5) Las tecnologías disponibles y políticas perdurables (el papel del gobierno y de las municipalidades) beneficiando la utilización y la aplicación de energías renovables, mitigando los efectos generados por el hombre y los procesos del Cambio Climático en marcha.
- 6) Otros temas ambientales de la provincia de Mendoza

La segunda versión de Cuyún se logró por el trabajo entre 18 profesionales coordinado por el Instituto de Ciencias Ambientales- Institutos Multidisciplinarios (ICA-IMD-UNCUYO) y el Centro de Desarrollo del Pensamiento Científico en Niños y Adolescentes (RECREO-UNCUYO). Colaboraron también, la Secretaría de Medio Ambiente, la Dirección de Recursos Naturales Renovables, la Dirección General de Escuelas del Gobierno, organismos de la provincia de Mendoza, así como la Embajada de Alemania en Argentina, quien otorgó el financiamiento del material. Se imprimieron 33.000 ejemplares con formato de 69 cm x 99 cm, los cuales fueron entregados en el año 2011 en las 1.800 escuelas de la Provincia.



Figura N° 2: Personaje “Cuyún” y Póster publicado en el año 2010.

La complejidad de la temática y el espacio acotado de un soporte visual tipo póster, plantearon la necesidad de ampliar y complementar los conceptos mediante la elaboración de un soporte escrito. Esto, sumado a la exitosa aceptación del material y el escaso conocimiento del problema por parte de docentes, reafirmó el compromiso del equipo técnico de dar continuidad al proyecto, mediante la elaboración de un Manual para docentes, complementario al Póster.

Metodología de trabajo

Para la redacción del material “Cuyún en la escuela: cambia tus hábitos, no el clima. Manual sobre el Cambio Climático para el docente en Mendoza”, se dio continuidad al equipo técnico autor del Póster, coordinado por el ICA-UNCUYO. En el mismo participaron instituciones educativas y ambientales de renombre en la Provincia (Dirección de Recursos Naturales Renovables, Dirección General de Escuelas, Instituto de Tecnología Industrial, Universidad Nacional de Cuyo), así como profesionales independientes de diferentes disciplinas.

A modo estratégico, se garantizó la participación comprometida de instituciones del gobierno que garantizaran la posterior distribución y aplicación del material, incluyéndolo en la currícula oficial de los planes educativos de la Provincia.

Se organizó el contenido profundizando en los principales ejes abordados en el Póster:

- Reconocimiento del marco geográfico y ambiental de la provincia de Mendoza.
- Conceptos esenciales de la problemática del Cambio Climático.



- Recursos energéticos.
- Recursos Naturales y efectos del Cambio Climático desde un enfoque local: Aire, Biodiversidad, recursos hídricos, arbolado público.
- Residuos y consumo responsable.
- Marco normativo y responsabilidad social.
- Hábitos y comportamientos del ser humano. Buenas prácticas y tecnologías responsables con el ambiente.
- Propuestas de actividades para realizar en el aula.

El desarrollo del proyecto se organizó en las siguientes etapas:

- Vinculación interinstitucional, investigación y redacción,
- Edición, diseño, ilustración.
- Revisión e impresión.
- Transferencia y difusión.

Financiamiento

Se obtuvo apoyo financiero de la Embajada de Suiza, con el cual se imprimieron 2.000 manuales destinados a establecimientos educativos de la Provincia.

RESULTADOS

Edición del Manual

En diciembre de 2011 se concluyó con la edición, diseño y revisión del Manual (Figura N°3). El mismo contiene 188 páginas a color, el 50% de la edición está compuesta por dibujos, diagramas, cuadros e instrucciones que forma parte del texto en sí y de trabajos prácticos en el aula.

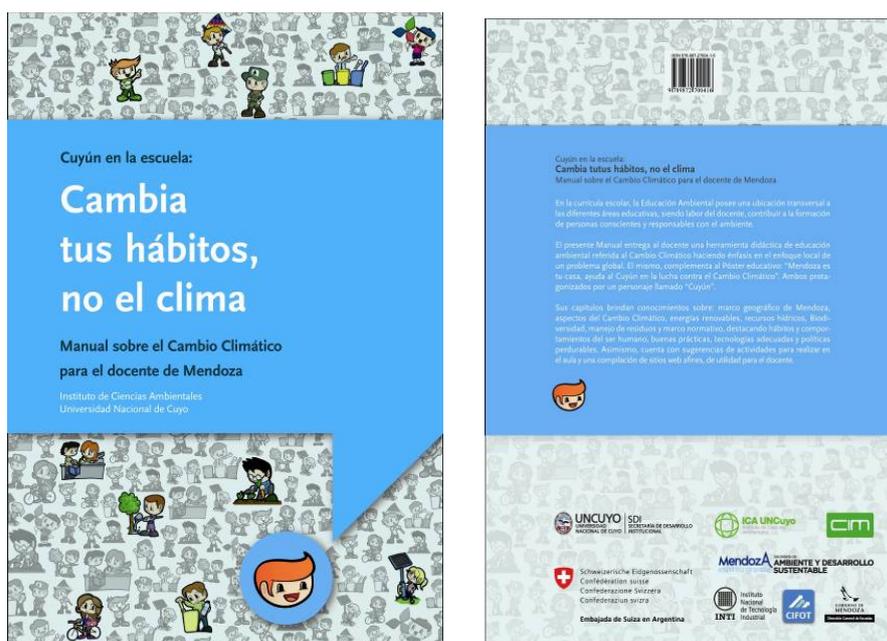


Figura N° 3: Tapa y contratapa del Manual. 2012



Índice y contenido del Manual

El producto final está organizado en 7 capítulos. Cada capítulo tiene un índice particular con un diseño original (ver Anexo 1), que concluye con una sección llamada “actividades en el aula”, la cual brinda propuestas para que el docente realice la transferencia en el aula. A lo largo de sus capítulos se abordan conceptos específicos de la temática, que han tomado importancia e identidad propia, como: Efecto Invernadero (EI), Gases Efecto Invernadero (GEI), Protocolo de Kioto, Huella de Carbono, energías renovables, derretimiento de cuerpos glaciares, pérdida de Biodiversidad, ciclo de vida de un producto, consumo responsable, etc.

El índice presenta la siguiente estructura:

- **CAPITULO I.- Un Oasis en el Desierto: Marco Geográfico y Ambiental de la Provincia de Mendoza.**
Analiza el marco geográfico y ambiental de la provincia de Mendoza. Ayuda a comprender la inserción y ubicación en el territorio. El enfoque local desde donde podemos actuar.
- **CAPITULO II.- El Cambio Climático**
Profundiza los conceptos específicos del Cambio Climático, cómo se genera y cuáles son las consecuencias, desde un enfoque global y local.
- **CAPITULO III.- Los recursos energéticos**
Describe la dependencia de fuentes energéticas no renovables y su contribución al Cambio Climático. Asimismo se detallan las fuentes renovables de energía.
- **CAPITULO IV.- Los recursos naturales y el Cambio Climático**
Es más amplio, en cuatro apartados se demuestra la importancia de los recursos naturales aire, agua y Biodiversidad y cómo se ven afectados por el Cambio Climático. Incorporando un apartado especial a los árboles y arbolado público, debido a su relevancia en el contexto mendocino.
 - 4.1.- El aire
 - 4.2.- Los recursos hídricos
 - 4.3.- La Biodiversidad
 - 4.4.- Los árboles y el Arbolado Público
- **CAPITULO V.- Basura, residuos y consumo responsable ¿Qué tiene que ver con el Cambio Climático?**
Presenta el problema del consumismo humano y su relación con la generación de basura y residuos. Mediante el análisis del ciclo de vida de un producto, se evalúan los efectos directos e indirectos sobre el Cambio Climático. Especifica la importancia del reciclado, disposición final de los residuos y alienta al consumo responsable.
- **CAPITULO VI.- La lucha contra el Cambio Climático y cómo nos ayuda la Ley.**
Este capítulo es esencial para alentar la actitud participativa y responsable de todo ciudadano. Enumera las leyes actuales y su utilidad para desarrollar soluciones por medio de la participación activa y creativa en la comunidad local.



- **CAPITULO VII.- Bibliografía**

El Manual concluye con la síntesis bibliográfica y un catálogo representativo de sitios web de utilidad para la temática. Confiando en la capacidad de cada docente de complementar, elaborar y mejorar el material didáctico, científico y técnico a fines de investigar y generar sus propias herramientas y conclusiones para el trabajo adecuado ante cada aula o espacio educativo.

Impresión y presentación del Manual

Se imprimieron 2000 ejemplares, con tapa dura y anillado metálico. Los mismos fueron presentados ante la comunidad educativa el 15 de junio de 2012 en colaboración con la Dirección General de Escuelas y Secretaría de Medio Ambiente de la Provincia, en el marco del Día Nacional del Libro y del Día Mundial del Ambiente.

Transferencia y distribución

La distribución en las escuelas se llevará a cabo mediante instancias de capacitación del Plan de Desarrollo Profesional Docente en Ciencias Naturales para escuelas primarias, dictado por la Dirección General de Escuelas. Resultó fundamental la incorporación de la temática en la currícula de las escuelas primarias de la provincia de Mendoza.

Por otra parte en colaboración con la Dirección de Recursos Naturales de la Provincia, se distribuyen ejemplares en las Áreas Naturales Protegidas más visitadas por escuelas, las cuales son consideradas importantes sitios educativos multiplicadores del conocimiento y generadores de conciencia ambiental.

Difusión y capacitaciones

A los fines de difundir el proyecto, se realizaron talleres didácticos en escuelas y eventos afines, para concientizar estudiantes y docentes sobre el tema del Cambio Climático en la Provincia.

Se buscaron diversos medios de difusión, entre lo que se destacan: entrevistas en radios, medios televisivos, notas en periódicos locales, artículos educativos en un suplemento infantil de un diario local.

A modo complementario, se propusieron capacitaciones específicas sobre el contenido del manual y su aplicación en el aula.

Reconocimientos

El proyecto ha recibido múltiples menciones y/o reconocimientos por su valor y calidad didáctica. Entre ellos podemos destacar:

- Declaración de interés por la UNCUYO según resolución N° 320/2010.
- Declaración al personaje CUYÚN como “mascota oficial del ambiente de la provincia de Mendoza” por parte de la Secretaría de Ambiente del Gobierno de Mendoza.
- Premio Mención al Compromiso Ambiental 2012, X edición, otorgado por la Universidad de Congreso en el marco del Día Mundial del Ambiente.



Continuidad del proyecto

El carácter intrínsecamente dinámico de la educación ambiental, propone constantemente dar continuidad y recrear las maneras de comunicar, difundir e innovar en la generación y aplicación del material educativo. Así es como han ido surgiendo nuevas ramas y propuestas de capacitación y difusión del mismo. Por un lado dirigidas a docentes y establecimientos educativos, y por otro dirigidas a guardaparques y Áreas Naturales Protegidas de la Provincia.

DISCUSIÓN

Abordaje de conceptos nuevos y complejos

Es común el abordaje de problemas complejos desde lenguajes científico- académicos, mediante investigaciones y difusión entre la comunidad científica, pero con escasa llegada a la comunidad en general. Problemas de dimensiones globales, como es el Cambio Climático, son percibidos por la población de manera imprecisa. Esto dificulta la comprensión desde el ámbito local y diluye la real responsabilidad particular. Asimismo, los medios de comunicación, han generalizado una tendencia a la visión catastrófica extrema, desalentando la posibilidad de actuar de cada individuo. Desde el punto de vista educativo, este fenómeno repercute de manera negativa en la motivación del niño ante la vida y el futuro. Por tal motivo, se abordó el contenido del Manual diferenciando un enfoque pesimista, un enfoque objetivo-argumentativo, y uno optimista que nos permita generar soluciones con creatividad y motivación.

Del mismo modo, sin perder este enfoque global de la problemática, resulta necesario incentivar la capacidad de acción desde la comprensión local, fortaleciendo la capacidad de resiliencia, mitigación y adaptación frente al Cambio Climático. En este sentido, resultó exitosa la experiencia de plasmar la interacción entre el hombre y la naturaleza mediante la imagen de un mapa geográfico de la provincia de Mendoza.

Transferencia, difusión y comunicación como medio de reducción de la vulnerabilidad ante el Cambio Climático

Es a través de la incorporación e internalización del conocimiento hacia los diferentes sectores de la comunidad, que muchos cambios son factibles. Para lograrlos, es preciso recurrir a diversas estrategias de educación y comunicación ambiental, según cada realidad local y tipo de destinatario.

Entre los mecanismos de lucha frente al Cambio Climático, se requiere la disminución de la vulnerabilidad de un territorio, así como el aumento de la capacidad de resiliencia y adaptación frente al cambio. Desde el punto de vista físico, económico y social, comunidades desinformadas se vuelven más vulnerables. Pero no es sólo la información lo que debe volverse accesible, sino también, lograr que los medios de comunicación, difusión y educación



cumplan el objetivo de ser canales de sensibilización e internalización de conocimiento en la comunidad toda, alentando la participación y el pensamiento crítico y creativo.

Cambia tus hábitos, no el clima

La finalidad de la educación y comunicación ambiental, así como la del material elaborado, es la formación integral de cada persona, promoviendo una relación de convivencia con la comunidad y el ambiente natural, mediante el acceso a distintos saberes, adquisición de valores, desarrollo de un compromiso socioambiental, pensamiento crítico y comportamiento cooperativo. De esta manera, el conocimiento incorporado, se transmite no solo mediante la educación formal en las aulas, sino mediante los hábitos y comportamientos de la vida cotidiana, siendo así cada ser humano, un multiplicador de la conciencia ambiental. Así mismo, cada educador debe asimilar hábitos coherentes con el conocimiento que divulga y dar el ejemplo.

La educación como proceso dinámico

Cualquier material didáctico guardado en una biblioteca o colado en una pared, no tendrá la posibilidad de cumplir el objetivo para el cual fue elaborado con esfuerzo. Necesariamente deben buscarse los medios a través de los cuales se mantenga el movimiento, actualización y adaptación del material y su contenido. Con el paso del tiempo el contexto varía, surgen nuevas investigaciones, nuevas pedagogías o sistemas de enseñanza-aprendizaje, que deben considerarse. Es así como la experiencia de Cuyún permitió atravesar estas etapas a través del tiempo, las formas, el contexto, y destinatarios. El primer Poster reflejó una percepción de los problemas ambientales que 15 años después no era la misma, lo que incentivó a una nueva imagen con un nuevo contenido. Asimismo, luego de cumplir esta etapa, se vio la necesidad de incluir a los docentes en el proceso, para lo cual se elaboró un material específico: el Manual. Actualmente, se incorporaron las Áreas Naturales Protegidas de la Provincia como espacios educativos fundamentales y complementarios a las escuelas, siendo los guardaparques los nuevos actores incluidos como multiplicadores del conocimiento. El proceso no considera acabado, sino que continúa encontrando y creando canales creativos de comunicación e interacción con la comunidad, como es el caso de las publicaciones semanales en el suplemento infantil Tintero en el diario mendocino Los Andes, mediante el cual, Cuyún llega a 120.000 cada domingo.



Un manual no es un recetario

No es posible lograr materiales perfectamente acabados, y adecuados para todos los contextos. Especialmente con temáticas en que existe incertidumbre científica y gran variabilidad en las repercusiones locales del problema. Los docentes tienen la responsabilidad de completar, recrear y adaptar el contenido frente a la realidad específica en que se encuentran.

CONCLUSIONES

La educación y comunicación ambiental, consideradas eje transversal del ámbito educativo, son herramientas para la comprensión y resolución de problemas ambientales. La experiencia permitió el desarrollo, diseño y publicación del material propuesto, con exitosa aceptación de la comunidad educativa y en general.

El desarrollo de esta iniciativa permitió abordar temas complejos mediante el compromiso y cooperación de un equipo interinstitucional e interdisciplinario, del cual surgieron nuevos horizontes de trabajo.

La incorporación herramientas de comunicación visual y didáctica, amistosa y divertida para niños y docentes, facilita la aceptación y comprensión de temas complejos como es el Cambio Climático.

El cambio de hábitos es considerado como un desafío fundamental para luchar frente al Cambio Climático. A través del Manual se incentiva el sentido de responsabilidad y participación en los individuos, especialmente en el territorio local, gracias al cambio e incorporación de hábitos y comportamientos.

REFERENCIAS

[1]. Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación, s.f. Estrategia Nacional de Cambio Climático.

Bibliografía de consulta

- IPCC, R.K. Pachauri, A. Reisinger (directores de la publicación), 2007. Cambio climático 2007: Informe de síntesis. Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Cuarto Informe de evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. IPCC, Ginebra, Suiza, 104 págs.
- PNUMA, 2004. Carpeta de Información sobre Cambio Climático. PNUMA, UNFCCC. Suiza, 65 págs.
- Greenpeace México, 2007. Guía de ahorro de energía. Edición digital. México.



- Greenpeace Internacional, Consejo Europeo de Energías Renovables (EREC), 2007. Revolución energética: perspectiva mundial de la energía renovable. Alemania, 82 págs.
- UNICEF, s.f. Jeder tropfen zählt, Wasser ist Leben. UNICEF, Alemania.
- Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE), 2007. Guía Práctica de la Energía. Consumo Eficiente y Responsable. Edición digital. Madrid, España. 164 págs.
- Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDEA), 2009. Cambiando los hábitos de consumo energético. Directrices para programas dirigidos al cambio de comportamientos. IDAE, España. 96 págs.

ANEXO 1. Índices particulares de cada capítulo

CAPITULO I: Un Oasis en el Desierto: Marco Geográfico y Ambiental de la Provincia de Mendoza.



CAPITULO II: El Cambio Climático





CAPITULO III: Los recursos energéticos



CAPITULO IV: Los recursos naturales y el Cambio Climático

4.1. El aire



4.2. Los recursos hídricos





4.3. La Biodiversidad



4.4. Los árboles y el Arbolado Público



CAPITULO V: Basura, residuos y consumo responsable ¿Qué tiene que ver con el Cambio Climático?





CAPITULO VI: La lucha contra el Cambio Climático y cómo nos ayuda la Ley



CAPITULO VII: Bibliografía



Exploratory Analysis of Traits for the Study of the Seed Dispersal by Birds

Sergio Camiz¹, Leandro D.S. Duarte², Gastão C. Gomes³

¹*Dipartimento di Matematica Guido Castelnuovo, Sapienza Università di Roma, CNR-Istituto di Acustica e Sensoristica "O.M. Corbino". sergio.camiz@uniroma1.it*

²*Departamento de Ecologia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Brazil. duarte.ldas@gmail.com*

³*Departamento de Matemática e Estatística - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brazil. gastao@im.ufrj.br*

ABSTRACT

In grassland-forest mosaics, isolated shrubs and trees modify the resource availability and environmental conditions beneath their crowns, creating suitable habitats for the establishment of forest species, leading to the nucleation of forest patches. Nucleation of forest patches in grassland also depends on dispersal of plant diaspores (namely fruits and/or seeds) from forests to open sites. Woody plants established on grassland attract frugivorous birds that use them as perches, increasing seed rain beneath the plant crown. Traditionally, traits of vertebrate-dispersed diaspores, such as size and color have been used as indicators of dispersal by distinct dispersers. Vegetation mosaics formed by Araucaria forest and Campos grassland constitute the main natural landscape found in southern Brazilian highlands. Colonizer plants with large, reserve-rich seeds are expected to have advantage over small-seeded species as patch area increases. Nonetheless, colonization is also expected to be influenced by the activities of dispersal agents, especially frugivorous birds. We evaluated the functional relevance of diaspores traits as indicators of plant-disperser mutualisms in the colonization of Araucaria forest patches in southern Brazil. Diaspores of colonizer plant genera were characterized by diaspore type, size and color.

In this communication we jointly analyze data matrices of data collected in a field work, in order to establish deeper relations among the different items taken into account: relevés characters, bird genus, plant genus, and traits. In particular, Correspondence Analysis was taken into account, in order to get a first insight of the data, helpful in planning more appropriate statistical analyses.

INTRODUCTION

A tendency of woody plant encroachment in grass-dominated ecosystems has been currently observed in several parts of the world (Bond & Midgley, 2000; Bond et al., 2003; Scholes & Archer, 1997). In grassland-forest mosaics, isolated shrubs and trees modify the resource availability and environmental conditions beneath their crowns, creating suitable habitats for the establishment of forest species (Bruno et al., 2003; Callaway, 1995), leading to the nucleation of forest patches (Duarte et al., 2007). Nucleation of forest patches in grassland also depends on dispersal of plant diaspores (namely fruits and/or seeds) from forests to open sites, and the mechanisms underlying this process provide a basis for the understanding of



grassland-forest boundary dynamics. In woody plant communities exposed to high rainfall levels, a major proportion of plant species is dispersed by animals, especially vertebrates (Herrera, 2002), whose behavior and habitat preferences may determine the deposition site of seeds (Nathan & Muller-Landau, 2000). Woody plants established on grassland attract frugivorous birds that use them as perches for resting and/or for foraging activities (Shiels & Walker, 2003), increasing seed rain beneath the plant crown, and thus favoring the colonization of open areas by forest species (Guevara et al., 1992).

Traditionally, attributes of vertebrate-dispersed diaspores, such as size, color and smell, have been used as indicators of dispersal by distinct disperser groups (Van der Pijl, 1972). Hereafter these diaspores traits are referred as *Disperser Attraction Traits (DAT)*. The adaptive value of *DAT* has been vastly demonstrated by empirical studies (e.g. Gauthier-Hion et al. 1985).

Nevertheless, interspecific variation in *DAT* is expected to show some degree of phylogenetic signal (Fischer and Chapman 1993). An alternative to prevent inflated co-variation in diaspores traits due to phylogenetic signal consists of using higher taxonomic levels (genus, family, etc.) instead of species to characterize diaspores in relation to ecologically relevant attributes (Voigt et al. 2004). Vegetation mosaics formed by Araucaria forest and Campos grassland constitute the main natural landscape found in southern Brazilian highlands (Rambo, 1994). Araucaria forest expansion over grassland in southern Brazil was already demonstrated by paleopollen evidence (Behling & Pillar, 2007), and it occurs either gradually by edge dynamics (Oliveira & Pillar, 2004), or by nucleation of forest patches in the grassland (Duarte et al., 2006a). The recruitment of woody saplings in Araucaria forest patches is strongly associated with patch area. As patch size increases, the relative abundance of colonizer species decreases, while the abundance of local recruiters increases (Duarte et al. 2007). Therefore, a positive correlation between patch size and space occupancy by resident species is observed. In such a scenario, colonizer plants with large, reserve rich seeds are expected to have advantage over small-seeded species (Leishman 2001, Moles and Westoby 2006). Indeed, we found a significant positive association between patch size and mean seed diameter of colonizer species (Duarte et al. 2007). Most species colonizing Araucaria forest patches were found to show vertebrate-dispersed diaspores (Duarte et al. 2007). Thus, although the higher seed reserve content conferred advantage for plants establishing in large patches, colonization patterns seemed to be also influenced by processes related to attributes and/or behavior of dispersal agents.



Materials and Methods

Data are taken from Duarte et al. (2007) and refer to 24 Araucaria forest patches scattered in a grassland site surrounded by a continuous Araucaria forest in the southern Brazilian highlands (29°28'S and 50°13'W, at ca. 900m.a.s.l.): the full description of plant composition is reported there. The data have been organized in the following matrices:

1) Matrix W. This binary matrix records the presence/absence of a plant genus among 13 genera (Miconia, Myrsine, Nectandra, Ficus, Myrceugenia, Ocotea, Cabralea, Eugenia, Leandra, Psidium, Solanum, Drimys, and Rudgea) in each of 24 observed patches. Each patch analyzed contained, at least, two colonizer plant genera.

2) Matrix E. This binary matrix attributes the 24 patches to one of 3 groups according to area and structural development (Duarte et al., 2006b): i) Small patches (NP, N = 14) of *Araucaria angustifolia* individuals isolated in the grassland (mean crown area \pm standard error = 35 m² \pm 5.2). ii) Medium patches (SP, N = 5) correspond to groups of forest woody plants with at least one adult tree and accompanying shrubs forming a continuous canopy, surrounded by a continuous herb layer (mean patch area \pm standard error = 195.3 m² \pm 37.9). iii) Large patches (LP, N = 5, data from (Machado, 2004) with higher structural development (mean patch area \pm standard error = 1899.6 m² \pm 255.7).

3) Matrix B. This matrix describes diaspore traits of the 13 colonizer plant genera. For each trait, described by diaspore type, size and color (DAT, Duarte et al., 2007), the genus value is the proportion of species in this genus with the trait present. Berries (BERR) and drupes (DRUP) represent 85% of diaspores, while the remaining 15% are arillate seeds (ARIL, 8%) or figs (FIGS, 8%). We considered three diaspore size classes: most diaspores (ca. 31%) are small (SMDI, diameter smaller than 10 mm.), 48% are medium (MEDI, diameter within 10 and 35 mm.), while only 21% are large (LADI, diaspores larger than 35 mm.). Bright colors (black, violet, red, and orange) are present in 82% of diaspores, while dull colors (brown and yellow) are present in the remaining 18% of colonizer diaspores.

4) Matrix N. Data on plant-bird interactions were obtained from the available literature on bird diet and frugivory (see the Electronic Appendix of Duarte et al., 2011). We defined a plant-frugivore table in which the presence/absence of interactions between the 13 plant genera (rows) and 30 fruit-consumer bird species (columns) is recorded.

From these given data tables, other tables were obtained by multiplication of the original matrices:

5) Matrix WE. This matrix results as product of W and E gathering the patches according to their size. Thus, WE crosses 13 plant-generuses with the 3 patch sizes. It contains the frequencies of plant genera in each patch size type.

6) Matrix BN. This matrix is the product of B and N: since B crosses plant traits x plant genera, and N is a plant genera by bird species binary interaction matrix, their product will result in a plant traits by bird species contingency table. That is, BN contains the trait frequencies in the plants that are picked by each bird species. It results in a 13 x 30 matrix that represents the interest of a bird species to pick diaspores with specific plant traits.



For the analysis, we submitted all matrices, but the E that is trivial, to Correspondence Analysis (CA, Benzécri et al., 1973-82; Greenacre, 1983). This method allows representing graphically the items that cross in the tables, which makes easier the representation of the relations between tables' rows and columns. In addition, two tests, based on the chi-square, allow establishing the significance of the dimensions, according to the corresponding significance of the table obtained by the partial reconstruction due to a reduced number of factors. This is especially useful if one may associate to each factor some external character that may influence the table structure.

Indeed, as the chi-square is a multiple of the table's inertia, expressed in the chi-square metrics, it results that it is decomposed proportionally to each factor's eigenvalue:

$$\chi^2 = \chi_1^2 + \chi_2^2 + \dots = n\lambda_1 + n\lambda_2 + \dots = n \sum_{\alpha=1}^{\min(r,c)-1} \lambda_{\alpha}$$

$$n_{ij} = nr_i c_j \left(1 + \sum_{\alpha=1}^{\min(r,c)-1} \lambda_{\alpha} u_{i\alpha} v_{j\alpha} \right) = nr_i c_j + nr_i c_j \lambda_1 u_{i1} v_{j1} + nr_i c_j \lambda_2 u_{i2} v_{j2} + \dots$$

In the reconstruction formula of CA, each table's cell is worth so that the table may be seen as a sum of layers, that is, a rank-1 table, whose first corresponds to the expected value under independence and each other corresponds to the departure from expectation due to the a-th factor. Each layer inertia equals the corresponding eigenvalue, so that its chi-square is proportional to their sum.

On this basis, for each a-th layer a test may be done for significance of its χ^2 , with $\max(r,c)-1$ degrees of freedom, and another for the significance of the a-th residual, that is the difference between the a-dimensional reconstruction and the original table. Indeed, the

$$n_{ij} = nr_i c_j \left(1 + \sum_{\beta=1}^a \lambda_{\beta} u_{i\beta} v_{j\beta} + \sum_{\beta=a+1}^{\min(r,c)-1} \lambda_{\beta} u_{i\beta} v_{j\beta} \right)$$

following decomposition holds for any

Thus, the table's chi-square may be decomposed as a sum of independent chi-squares, the first with $(r+c-2)a-1$ and the second with $(r-a-1)(c-a-1)$ degrees of freedom, respectively.

Indeed, the latter statistics approximates the goodness of fit statistics (Kendall and Stewart, 1961) as showed by Malinvaud (1987). Should this test be positive, the residuals carry a significant deviation from the expectation and must be examined; otherwise, there would be no interest to go further. In analogous way, each layer may be tested for significance with $(r+c-2a-1)$ degrees of freedom: should it be positive, it would mean that the layer's deviation from expectation is in itself significant, thus the associated factor has a significant linear influence on the table's meaning (Orlóci, 1978).

Indeed, the problem tied to both tests is that the matrices we are dealing with are in general incidence matrices. Thus, on one side they are rather sparse and on the other, their values



are very small. Thus, a true chi-square might not be performed. Nevertheless, it is customary to apply Correspondence Analysis the same, so that no particular attention is drawn to these tests. We used them the same, in order to have an idea (maybe too conservative) of the intensity of the relations we are studying with them.

RESULTS

The exploration of the data tables through correspondence analysis gave the following results:

1) Matrix *W*

The CA of the genera-patches table *W*, albeit not significant per se, reveals one factor significant at over 1.3% level, to which over 40% of the total table inertia may be attributed. The second factor, albeit attributed over 20% of the total inertia, does not result significant at 5% level. In Figure 1 the pattern of both genera and patches is clearly in arch form. This is usually interpreted as the presence of an important main gradient that influences the data most than the others. It is well known from the theory (see Camiz, 2005) that in this case the following factors adjust the elements' position along the gradient. Indeed, on the positive side of the first axis, the largest patches are set, and most of the small ones are set on the other side, with the medium patches are in the middle, somehow mixed with the small ones.

For what concerns the genera, four groups appear very clearly: the *Drimys* is set alone at the left end of the gradient, then *Myrsine*, *Miconia*, and *Psidium* are set on the left side closer to the center; on the right site all other genera are found, with *Eugenia*, *Nectandria*, and *Ficus* at the very end of the gradient. This pattern may be interpreted as a factor determined by the patches size, concerning in particular the distinction between small and large patches.

2) Matrix *E*

This matrix only classifies the patches in the three classes, as specified. For this reason its correspondence analysis does not show particularly interesting results, since its rigid geometry, with the patches set on the vertices of a regular triangle, was implicit in the data structure. On the opposite, it will be used in the following to synthesize the results concerning the patch size.



3) Matrix B

This matrix is a composition of three matrices, each one referring to a specific trait of diaspores: the first two, kind and size, are typical of each genus, whereas the colour, is more distributed among genera, so that the table results not significant. Nevertheless, its representation on the first factor plane of CA (Figure 2) describes sufficiently well the relation between genera and their diaspores traits of belonging.

4) Matrix Even this matrix is non-significant, thus would not deserve being analyzed, unless a certain low significance of the first factor (11%), that suggests to give it a glance. The scattering of both plant genera and bird species on the first factor plane of CA is represented in Figure 3.

5) Matrix WE

This matrix represents the pattern of plant genera according to patch size. Unlike the matrix W, in this case a highly significant factor results, summarizing most of the matrix inertia (87%). Indeed, looking at Figure 4, an arch effect is evident, and an association between patch size and groups of genera seems readable. Thus, *Drymis* and *Myrsinae* seem to be preferably in small patches, *Miconia*, *Psidium*, and *Rudgea* seem to be rather ubiquitous (but with a tendency toward large patches, according to this sequence, and all others present only in large patches.

6) Matrix BN

This table, in which the traits of diaspores are crossed with bird species, indicate the bird preferences in picking some specific diaspores. As it is, this table is statistically non-significant, that is, its chi-square is not significant. For this reason, it is questionable to consider the associations between birds and diaspores as reliable. In addition, in CA, albeit the first two table's factors are accounted for 60% of total inertia, only the first has a significance of around 15%. This is too low to be currently taken into account, so that only some descriptive attention to it may be given. It is possible that the relative positions of both traits and birds understate some preferences, but we are not in condition to argue anything about it. In Figure 5 the relative positions of both bird species and diaspores traits are represented, but no comment may be reliably provided.

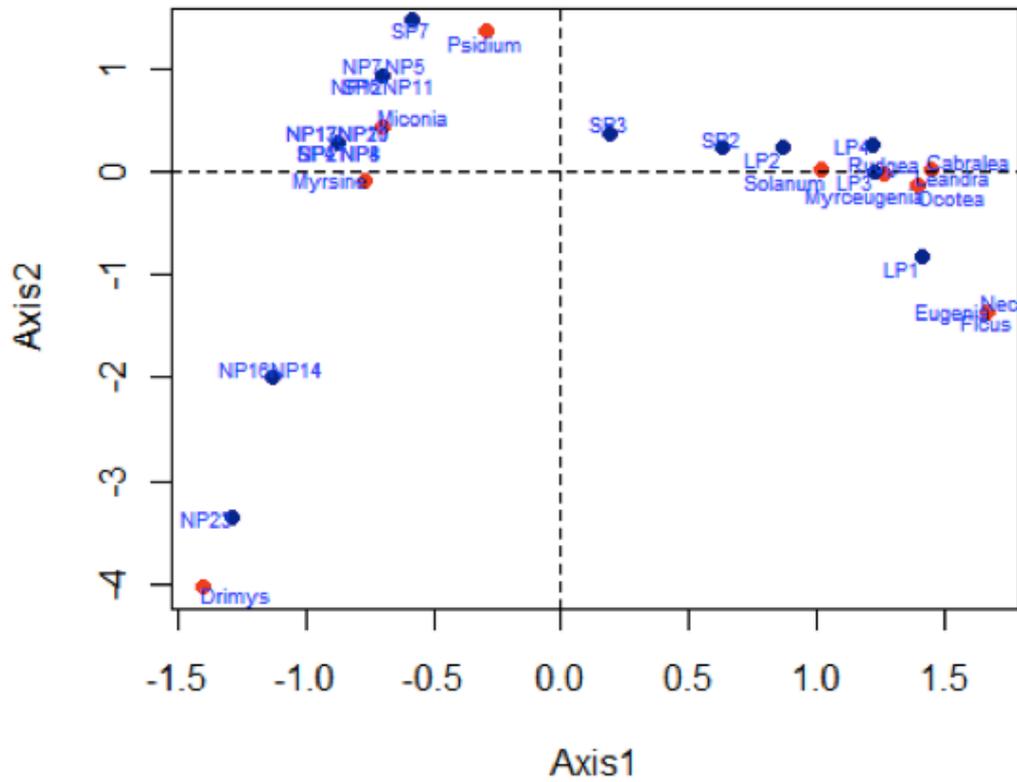


Figure 1 - Genera and patches on the first factor plane of CA of matrix W.

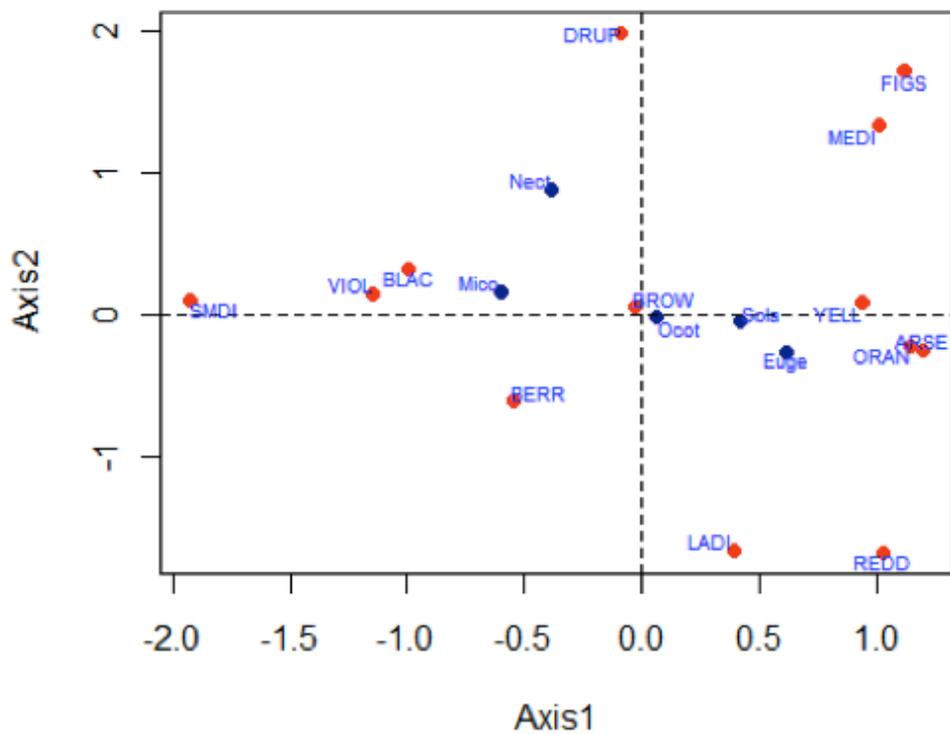


Figure 2 - Diasporas traits and genera on the first factor plane of CA of matrix B.

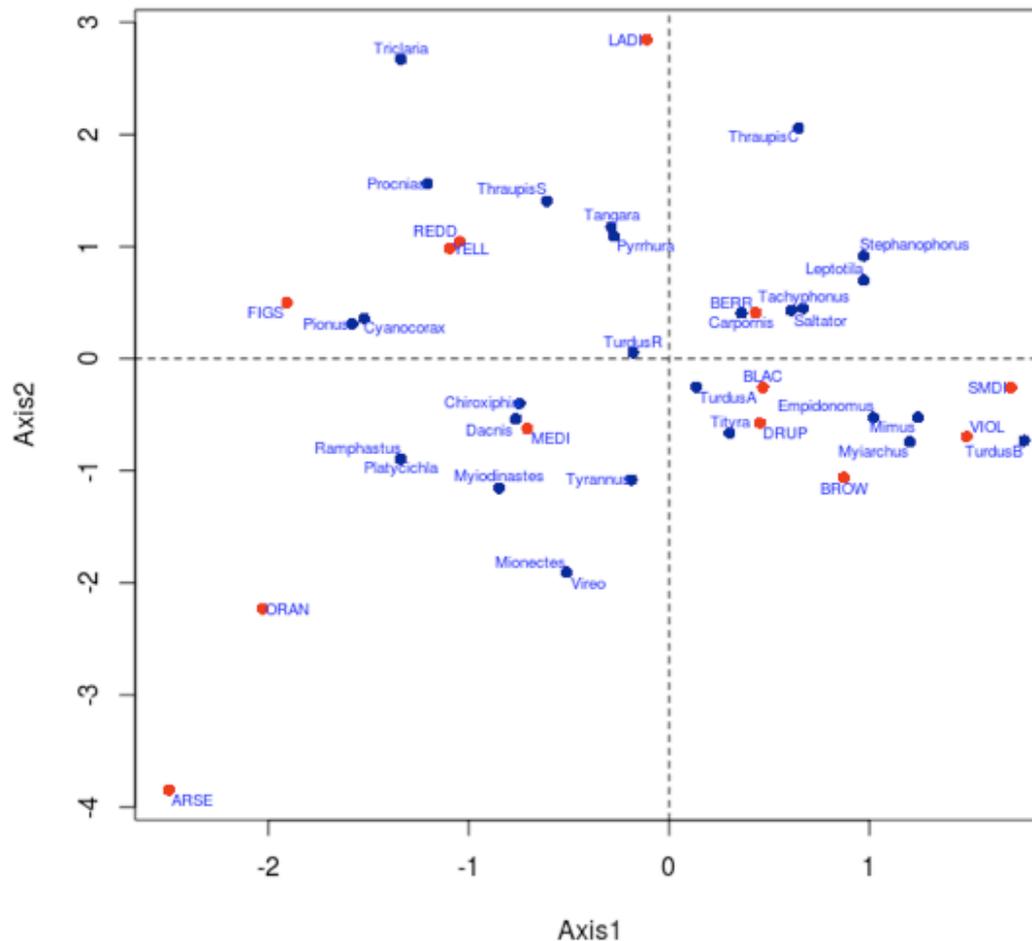


Figure 5 - Traits of diaspores and Bird species on the first factor plane of CA of matrix BN.

CONCLUSION

In this study we found that *DAT* variation in the colonizer plants living in contrasting habitat types resulted from a complex interplay between phylogenetic relationships between plants, interactions with frugivorous birds, and habitat-specific characteristics related to patch size. Interactions with frugivorous birds helped to explain *DAT* variation across the patches. The ecological interplay between diaspore traits and vertebrate dispersers has been extensively demonstrated in the literature (Gauthier-Hion et al. 1985; Voigt et al. 2004), and is likely mediated by functional interactions between plant traits and bird traits (Moran et al. 2004). Morphological attributes of diaspores make them more appropriate for consumption by particular sets of frugivores than by others. For instance, bird gape width limits the ingestion of diaspores above a compatible size (Wheelwright 1985). Thus, some relevant correspondence between functional attributes of plants and dispersers would reveal meaningful interaction patterns at the patch level.

This first work is a part of a larger study, in which the diaspores' traits are studied with their interactions with the birds, in order to understand their dispersal. Indeed, this exploratory



exam allows to understand to what extent the data tables taken into account may be suitable for the study. Some specific problems raised by the *BN* matrix gets questionable the information it may give concerning the interaction between diaspores traits and birds, at least, as far as the chi-square statistics may be considered reliable for this kind of data. Thus, some further deepening will be considered an important step in this study.

Acknowledgement

This paper was developed in the framework of the bilateral agreements between Universidades Federales do Rio de Janeiro e do Rio Grande do Sul with Sapienza Università di Roma. The first author was also supported by the Scientific Aggregate of Italian Embassy in Buenos Aires. The grants of these institutions are gratefully acknowledged.

REFERENCES

- Behling, H. and V.D. Pillar (2007), "Late Quaternary vegetation, biodiversity and fire dynamics on the southern Brazilian highland and their implication for conservation and management of modern Araucaria forest and grassland ecosystems". *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 362: pp. 243-251. doi:10.1098/rstb.2006.1984.
- Benzécri, J.P. et coll., (1982), *L'Analyse des Données*, 2 tomes, Paris, Dunod.
- Bond, W.J. and G.F. Midgley (2000), "A proposed CO₂-controlled mechanism of woody plant invasion in grasslands and savannas". *Global Change Biology*, 6: pp. 865-869.
- Bond, W.J., G.F. Midgley, and F.I. Woodward (2003), "The importance of low atmospheric CO₂ and fire in promoting the spread of grasslands and savannas". *Global Change Biology*, 9: pp. 973-982.
- Bruno, J.F., J.J. Stachowicz, and M.D. Bertness (2003), "Inclusion of facilitation into ecological theory". *Trends in Ecology and Evolution*, 18: pp. 119-125.
- Callaway, R. (1995), "Positive interactions among plants". *The Botanical Review* 61: 306-349.
- Camiz, S. (2005), "The Guttman Effect: its Interpretation and a New Redressing Method". *Tetradia Analushs Dedomenwn (Data Analysis Bulletin)*, 5: pp. 7-34.
- Duarte, L.D.S., M. Dos-Santos, S. Hartz, and V.D. Pillar (2006a), "Role of nurse plants in Araucaria Forest expansion over grassland in south Brazil". *Austral Ecology*, 31: pp. 520-528. doi:10.1111/j.1442-9993.2006.01602.x.
- Duarte, L.D.S., M.B. Carlucci, C.S. Fontana, S.M. Hartz, and V.D. Pillar (2011), "Plant diaspore traits as indicators of mutualistic interactions in woody vegetation patches developing into a grassland-forest mosaic". *Community Ecology*, 12: pp. 126-134. doi:10.1556/ComEc.12.2011.1.15.
- Duarte, L.D.S., M.B. Carlucci, S.M. Hartz, and V.D. Pillar (2007), "Plant dispersal strategies and the colonization of Araucaria forest patches in a grassland-forest



- mosaic". *Journal of Vegetation Science*, 18: pp. 847-858. doi:10.1111/j.1654-1103.2007.tb02601.x.
- Duarte. L.D.S., R.E. Machado, S.M. Hartz, and V.D. Pillar (2006b), "What saplings can tell us about forest expansion over natural grasslands". *Journal of Vegetation Science*, 17: pp. 799-808. doi:10.1658/1100-9233(2006)17[799:wsctua]2.0.co;2.
 - Gauthier-Hion, A., J.M. Duplantier, R. Quris, F. Feer, C. Sourd, J.P. Decoux, G. Dubost, L. Emmons, C. Erard, P. Heeketsweiler, A. Mougazi, C. Roussillon, and J.M. Thiollay (1985), "Fruit characters as a basis of fruit choice and seed dispersal in a tropical forest vertebrate community". *Oecologia*, 65: pp. 324-337.
 - Greenacre, M.J. (1983), *Theory and applications of correspondence analysis*. London, Academic Press.
 - Guevara, S., J. Meave, P. Moreno-Casasola, and J. Laborde (1992), "Floristic composition and structure of vegetation under isolated trees in neotropical pastures". *Journal of Vegetation Science*, 3: pp. 655-664.
 - Herrera, C.M. (2002), "Seed dispersal by vertebrates". In: C.M. Herrera and O. Pellmyr (Eds.) (2002), *Plant-animal interactions: an evolutionary approach*, Oxford, England, Blackwell Scientific Publications: pp. 185-208.
 - Kendall, M.G. and A. Stuart (1961), *The Advanced Theory of Statistics*, vol. 2. London, Griffin.
 - Leishman, M. (2001), "Does the seed size/number trade-off model determine plant community structure? An assessment of the model mechanisms and their generality". *Oikos*, 93: pp. 294-302.
 - Machado, R.E. (2004), "Padrões vegetacionais em capões de floresta com araucaria no planalto nordeste do Rio Grande do Sul, Brasil", Vol. MSc.: *Ecologia*, Brazil, Porto Alegre (RGDS), ed. UFRGS.
 - Malinvaud, E. (1987), "Data analysis in applied socio-economic statistics with special consideration of correspondence analysis". *Marketing Science Conference*, Joy en Josas: HEC-ISA.
 - Moles, A. and M. Westoby (2006), "Seed size and plant strategy across the whole life cycle". *Oikos*, 113: pp. 91-105.
 - Moran, C., C.P. Catterall, R.J. Green, and M.F. Olsen (2004). "Functional variation among frugivorous birds: implications for rainforest seed dispersal in a fragmented subtropical landscape". *Oecologia*, 141: pp. 584-595.
 - Nathan. R. And H.C. Müller-Landau (2000), "Spatial patterns of seed dispersal, their determinants and consequences for recruitment". *Trends in Ecology and Evolution*, 15: pp. 278-285.
 - Oliveira, J.M. and V.D. Pillar (2004), "Vegetation dynamics on mosaics of Campos and Araucaria forest between 1974 and 1999 in Southern Brazil". *Community Ecology*, 5: pp. 197-202.



- Orłóci, L. (1978), *Multivariate Analysis in Vegetation Research*, 2nd ed.. Den Haag (Netherlands), Junk.
- Rambo, B. (1994), *A Fisionomia do Rio Grande do Sul*. 3 edn, Brazil, São Leopoldo (RGDS), Editora Unisinos.
- Scholes, R.J. and S.R. Archer (1997), "Tree-grass interactions in savannas". *Annual Review of Ecology and Systematics*, 28: pp. 517-544. doi:doi:10.1146/annurev.ecolsys.28.1.517.
- Shiels, A.B. And L.R. Walker (2003), "Bird perches increase forest seeds on Puerto Rican landslides". *Restoration Ecology*, 11: pp. 457-465.
- Van der Pijl, L. (1972), *Principles of dispersal in higher plants*. 2 edn. Berlin, Springer-Verlag.
- Voigt, F.A., Bleher, J. Fietz, J.U. Ganzhorn, D., Schwab, and K. Böhning-Gaese (2004), "A comparison of morphological and chemical fruit traits between two sites with different frugivore assemblages". *Oecologia*, 141: pp. 94-104.
- Wheelwright, N.T. (1985), "Fruit size, gape width and the diets of fruit-eating birds". *Ecology*, 66: pp. 808-818.



Comparison of three Andean volcanic complexes through Multidimensional Analyses of geomorphometric data

S. Camiz^{1,2}, M. Poscolieri², and M. Roverato³

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

²CNR - Istituto di Acustica e Sensoristica, Roma - Italy

³UNAM - Centro de Geociencias - Queretaro - Mexico

maurizio.poscolieri@idasc.cnr.it

ABSTRACT

The geomorphometric classifications of local topographic gradients for three volcanoes situated in the Andes Cordillera, Parinacota, Socompa, and Tata Sabaya, are introduced and compared. Input data are eight topographic gradients obtained by processing raster Digital Elevation Models extracted from ASTER stereo-pairs. Based on these data, the pixels have been classified through a clustering procedure applied to coordinates resulting from Principal Component Analysis. The resulting thematic colour maps show the spatial distribution of homogeneous landform units, highlighting the impact of erosional and tectonic processes on the whole reliefs. Moreover, each class is described by both mean gradient values and mean topographic attributes such as elevation, slope and aspect. An unexpected result concerns the high similarity among the three volcanoes concerning the classes of pixels oriented toward SE, S, and SW: this suggests some common trigger phenomenon.

INTRODUCTION

The comparative studies of volcanoes structure can highly benefit from the increasing availability of *DEM* models, since most morphometric characters may be extracted by the analysis of the data they produce. Studies in this sense have been performed on the Andean volcanoes by [1], that developed a data base of volcano edifices morphometry, describing their most important landforms. In particular, the *MORVOLC* algorithm has been applied, in order to define the main volcano edifice morphological characters, including its border within the *DEM*.

In [2], [3], and [4] a new geomorphometric analysis method has been introduced, able to classify ground pixels according to their local relation with the neighboring ones. This way, two main targets may be reached: a fine tuned description of the morphological features and the possibility of their direct comparison among volcanoes. In addition, the associated colouring technique gets possible a visual comparison.



The technique is based on the so-called Tandem Analysis [5], composed by the pairing of a Principal Component Analysis [6] and a mixed classification that alternates K-means and Hierarchical clustering [7], applied to the dataset formed by the eight gradients of each DEM pixel, computed as the difference between the pixel's altitude and that of the eight surrounding ones.



Figure 1. Location of the three volcanic sites on a Google map.

In this work, we apply this technique to three volcanoes lying along the Andean range (see Figure 1): Parinacota (Figure 2), Socompa (Figure 3), and Tata Sabaya (Figure 4). We chose these volcanic edifices because of their similar substratum characteristics. The volcanoes are located above a weak substratum characterized by low-density sediments that probably favoured both the edifice instability and the triggering of wide Holocene Debris Avalanches [8, 9, 10]. The geomorphometric structural comparison could be a helpful tool to identify and better understand the instability factors that promote the edifices' failure.



Figure 2. Southern view of the Parinacota volcano.



Figure 3. Southern view of the Socompa volcano.



Figure 4. Southern view of the Tata Sabaya volcano.



The Geological Setting of the Volcanoes

Parinacota

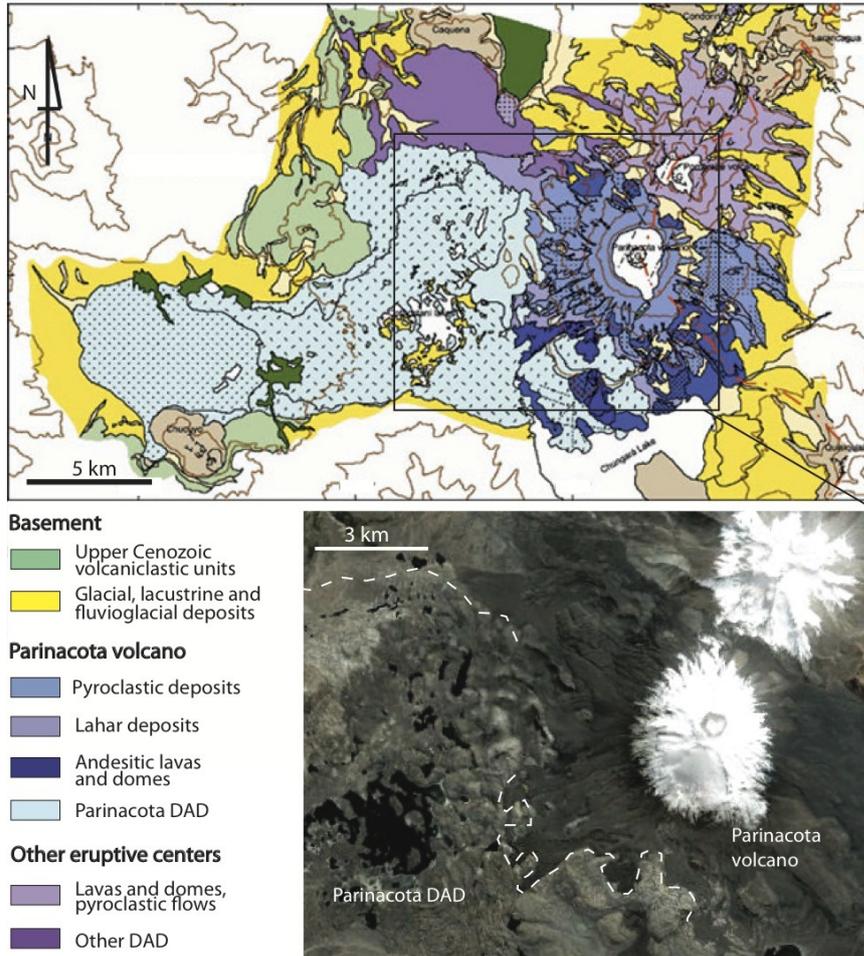


Figure 5. Geological map of Parinacota.

The Parinacota ($18^{\circ}09'46''S$; $69^{\circ}08'34''W$ - 6350 m. asl) is a composite late Quaternary ice-capped volcano, located at the border between Chile and Bolivia; it forms, together with Pomerape, the Nevados de Payachata volcanic area. The Parinacota's conic-shaped edifice is mainly formed by andesitic lava flows built on top of an andesitic-rhyolitic lava-dome complex. The stratocone was constructed in the Lauca basin [10], which sediments include fine-grained lacustrine laminated silt, cross-bedded silty to sandy deposit of fluvial origin, and conglomerates. The volcano and its products, including the Parinacota *Debris Avalanche Deposit (DAD)* [10], have a minimum estimated volume of 45 km^3 [11]. Following the most recent interpretation of the geological history of Parinacota [11], the evolution of the volcano may be described through three main stages.

Stage 1 (Late Pleistocene, 300à70? ka). The first stage is characterized by andesitic lavas, dacitic coulees, rhyodacitic to rhyolitic domes, and block-and-ash flow deposits that built up the edifice on top of the Lauca basin sedimentary deposits.



Stage 2 (Late Pleistocene - Early Holocene, 70?-8 ka). This stage is strongly characterized by the giant Holocene flank collapse that formed the Parinacota DAD [10]. Lava flows occurred during this stage: indeed, most of the upper part of the edifice built during this period collapsed and formed the main body of the DAD. In fact, the failure scar is made of andesitic lavas up to 40 m thick, which still preserve some original features. A few hummocks preserve the original stratigraphic and structural relations, that can be attributed to the stage 2 lava flow domain [11]. Some tephra fallout deposits are also preserved and suggest an explosive activity during the stage 2.

Stage 3 (Holocene, < 8 ka). Lavas and pyroclastic flow deposits, radially distributed around the cone, correspond to the edifice reconstruction after the flank collapse. Fallout deposits also occurred during the re-building processes and were probably originated at a central summit vent [11]. This has been followed by generation of lahars and by formation of a series of parasitic centres and their associated lava flows on the Southwestern flank.

Socompa

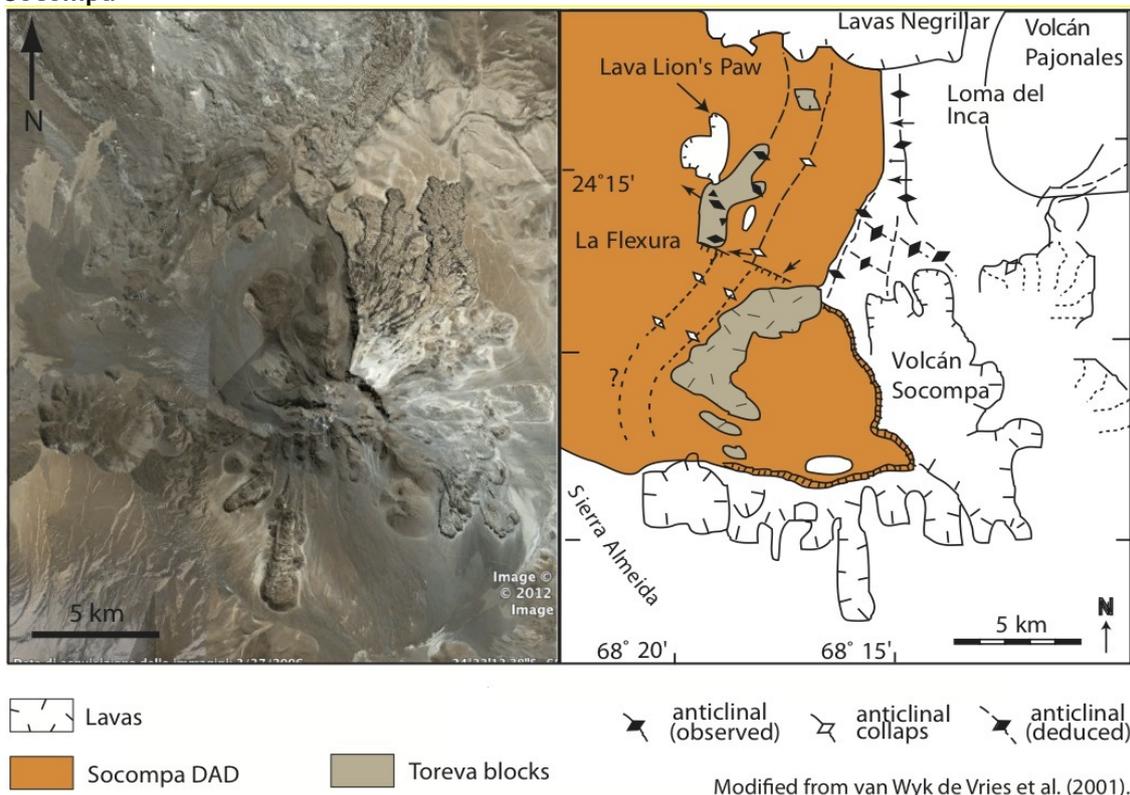


Figure 6. Geological map of Socompa.

Socompa ($24^{\circ}23'30''S$; $68^{\circ}14'20''W$ - 6051m. asl) is well known for its best-exposed giant debris avalanche deposit. It is one of the most voluminous terrestrial sector collapses and is remarkably well preserved by the hyper-arid climate of the Atacama Desert of Northern Chile [9]. Socompa lies at the Southeastern end of the Atacama Basin. It is surrounded to the Southeast, East and Northeast by other volcanic edifices of the Western volcanic chain. To



the North and Northwest lies the broad Monturaqui Basin, across which the avalanche emplaced. The basin is bordered to the West by Paleozoic and Mesozoic rocks and to the East by Miocene to Pliocene sedimentary and volcanoclastic rocks of the Quebrada Salin Formation [12], which also underlie the volcano. Lavas of the Holocene El Negrillar field lie North of the volcano and Northeast of the avalanche deposit [13]. A thin pyroclastic surge deposit at Monturaqui is dated about 7000 ka BP by [12] and represents the last activity of Socompa. The avalanche deposit extends across the Monturaqui Basin forming a broadly elliptical sheet 35 km long and 20 km wide. The thickness of the deposit ranges from a few to 90 meters [14]. The avalanche deposit is a mixture of two main components [9]: *i*) brecciated lavas and volcanoclastic deposits from the Socompa edifice, and *ii*) ignimbrites, gravels, sands, and minor lacustrine evaporates from the Salin Formation that form part of the volcano basement. The basement below Socompa is composed by Lower Paleozoic granitic and metamorphic rocks, overlaid by folded strata comprising Devonian quartzites, Permian acidic volcanic rocks, and Upper Cretaceous clays. Above, in the Monturaqui Basin, there is a 500 m thick layer of Miocene-Oligocene clays and conglomerates.

Tata Sabaya

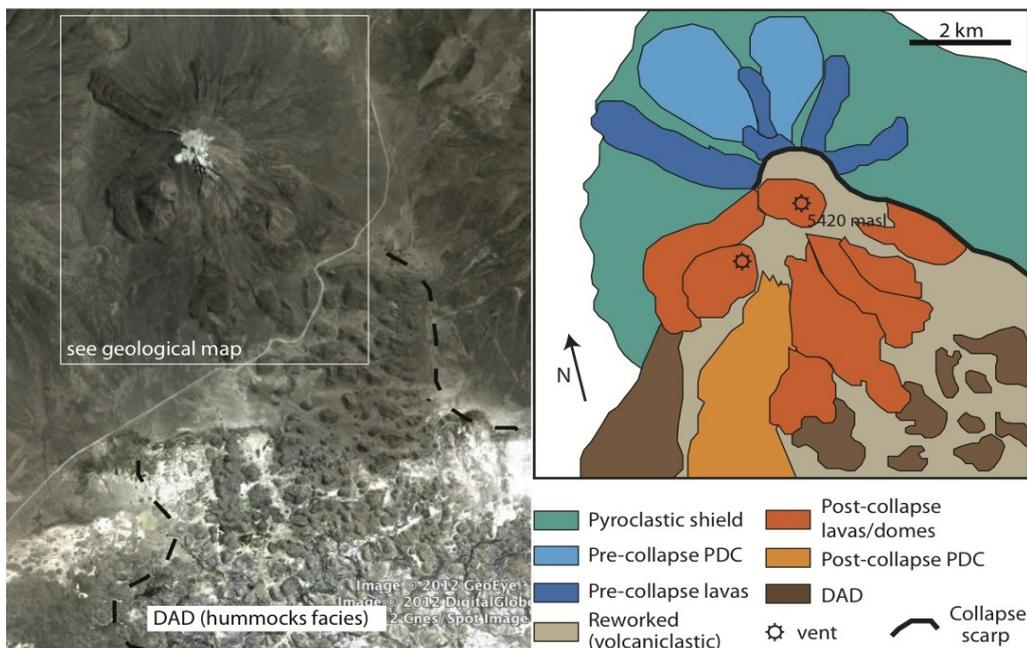


Figure 7. Geological map of Tata Sabaya.

Tata Sabaya ($19^{\circ}08'03''S$; $68^{\circ}31'31''W$ - 5430m. asl) is located at the Northern limit of the Salar de Coipasa on the Bolivian highland. It is a non-ice capped symmetrical composite cone, that is part of two Holocene centres in a chain of edifices. These edifices are *E-W* oriented with respect to the main *N-S* trending volcanic arc of the Andean Central Volcanic Zone (CVZ). Tata Sabaya is considered potentially active by [15] and its evolution probably spans from the late Quaternary to recent times. The exposed geology shows mainly Quaternary to



recent volcanic rocks, alluvial deposits, and lake sediments. The last are related to a large late Pleistocene lake of which the Salar de Coipasa is a remnant. Above the sediments, the volcano basement is formed by Tertiary ignimbrites. Four main stages are considered for the evolution of the edifice [8]:

Stage 1 (formation of a pyroclastic shield). Pyroclastic deposits, such as block-and-ash flows, pumice flows, and fallout deposits, form a shield-like base.

Stage 2 (Pre-collapse cone). Explosive volcanism turns to an effusive cone building phase, thus forming a summit slightly exceeding that of the present cone. The flows have prominent levees and high flow fronts. The upper portions of all these flows are truncated by the major collapse scar that surrounds the upper part of the cone.

Stage 3 (Cone collapse). A large flank collapse occurred catastrophically, resulting in the large butterfly-shaped debris avalanche body that extends Southwards of the volcano into the Salar de Coipasa.

Stage 4 (Post-collapse healing stage). Much of this stage (ongoing) is Holocene in age. After the edifice failure, a gaping amphitheatre was left and part of the edifice reconstruction resulted by the extrusion of several thick domes into the amphitheatre.

The data

The DEM files of the three volcanic complexes were obtained by using the ASTER data. ASTER (Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer) Global Digital Elevation Model (GDEM) is the result of a joint-venture of NASA and Japan's Ministry of Economy, Trade and Industry [16]. It deals with a database acquired by the satellite-borne sensor ASTER to cover all the land on Earth's surface. The GDEM was yielded by stereo-correlating the 1.3 million scenes in the database, exhibiting about 30 meters/pixel resolution, and formatted in 1×1 degrees tiles as GeoTIFF files [17]. The GDEM data are free available for downloading [18].

The DEM files were set up by picking out, within an ASTER, tile rectangular subsets centred on the three volcanic apparatuses. They appear as raster scenes: for Parinacota, it is 13.14×8.18 km large, composed by 448×265 pixels, with a spatial resolution of every pixel of 29.33×30.87 m; for Socompa it is 21.69×19.44 km large and composed by 771×630 pixels, with a spatial resolution of 28.13×30.86 m; for Tata Sabaya it is 9.22×9.29 km large and composed by 316×301 pixels, with a spatial resolution of 29.17×30.8 m.

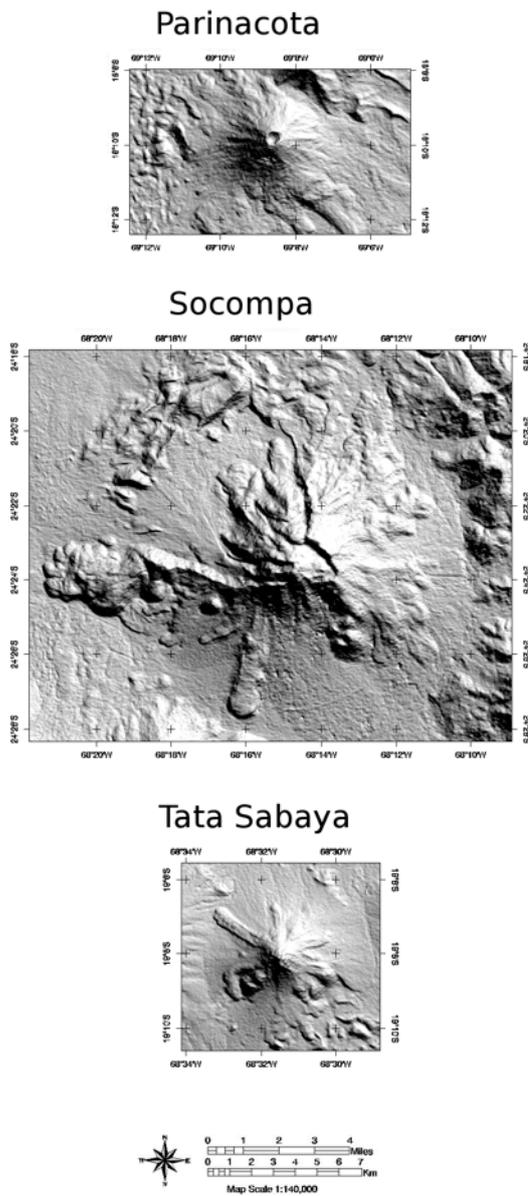
The obtained DEM files were processed by considering the elevation value at a given pixel and the ones at the eight closest neighbours. This way, 8 elevation gradients have been calculated for each pixel. In Remote Sensing applications this corresponds to an 8-layer data set that can be analyzed by classification techniques as a multi-band imagery [2]. As well,



these data sets can be seen as data tables of 118720 (Parinacota), 485730 (Socompa), and 95116 (Tata Sabaya) units respectively and 8 characters, the gradients, and, as such, submitted to multidimensional analyses.

Figure 8. Shaded relief maps of the three volcano complexes, obtained by processing GDEM ASTER data.

Figure 8 shows the shaded relief maps of Parinacota, Socompa, and Tata Sabaya volcanoes, obtained by processing GDEM ASTER data. Lighting geometry is with 45° elevation and N 45° azimuth.





<i>Gradient</i>	<i>N. pixels</i>	<i>Mean</i>	<i>St. Dev.</i>	<i>Minimum</i>	<i>Maximum</i>
<i>Parinacota</i>	<i>118720</i>				
<i>NW</i>		-1.28	11.25	-81.00	70.00
<i>N</i>		-1.50	8.27	-65.00	52.00
<i>NE</i>		-1.71	11.83	-88.00	68.00
<i>E</i>		-0.21	8.49	-68.00	71.00
<i>SE</i>		1.29	11.24	-70.00	81.00
<i>S</i>		1.50	8.27	-52.00	65.00
<i>SW</i>		1.71	11.82	-68.00	88.00
<i>W</i>		0.22	8.49	-71.00	68.00
<i>Height</i>		4960.29	372.10	4505.00	6336.00
<i>Slope</i>		16.42	9.96	0.00	60.64
<i>Aspect</i>		179.23	93.61	0.00	360.00
<i>Socompa</i>	<i>485730</i>				
<i>NW</i>		1.72	10.71	-87.00	100.00
<i>N</i>		0.71	8.30	-85.00	74.00
<i>NE</i>		-0.31	10.85	-110.00	73.00
<i>E</i>		-1.01	7.32	-85.00	64.00
<i>SE</i>		-1.72	10.72	-100.00	87.00
<i>S</i>		-0.71	8.30	-74.00	85.00
<i>SW</i>		0.29	10.85	-73.00	110.00
<i>W</i>		1.01	7.32	-64.00	85.00
<i>Height</i>		4047.52	459.20	3209.00	6020.00
<i>Slope</i>		15.05	10.37	0.00	64.95
<i>Aspect</i>		309.43	95.05	0.00	360.00
<i>Tata Sabaya</i>	<i>95116</i>				
<i>NW</i>		-1.00	9.54	-83.00	64.00
<i>N</i>		-0.19	7.49	-83.00	43.00
<i>NE</i>		0.60	9.81	-98.00	61.00
<i>E</i>		0.79	6.45	-76.00	68.00
<i>SE</i>		1.00	9.54	-64.00	83.00
<i>S</i>		0.21	7.49	-43.00	83.00
<i>SW</i>		-0.59	9.81	-61.00	98.00
<i>W</i>		-0.81	6.45	-68.00	76.00
<i>Height</i>		4169.96	264.62	3782.00	5367.00
<i>Slope</i>		13.57	9.08	0.00	63.15
<i>Aspect</i>		85.38	92.71	0.00	360.00

Table 1 - Mean, Standard Deviation, Minimum and Maximum of both the eight topographic gradients and the three morphometric parameters for the three volcanic complexes.

In Table 1 the main descriptive statistics are reported for the three volcanic complexes: number of observations (pixels), mean, standard deviation, minimum, and maximum. The statistics concern the eight topographical gradients together with the three morphometric parameters. It must be pointed out that the aspect mean and standard deviation have been



computed according to *circular statistics* [19], in order to take into account the proximity of the extreme values (as $0^\circ = 360^\circ$).

The Socompa complex is by far the largest of the three, more than double than the others in both dimensions. The Parinacota complex elevation ranges between 4505 and 6336 m asl., thus with the highest summit; the Socompa complex ranges between 3209 and 6020 m asl., thus the tallest apparatus; and Tata Sabaya complex is the smallest and lowest, ranging between 3872 and 5367 m asl. Their slope statistics are comparable, whereas the aspect have a similar standard deviation, around 90° , but very different mean values: 179.23° , 309.43° , and 85.38° , respectively. These orientations are in good agreement with the structure of the mean values of the eight gradients.

The classification method

The choice of partitioning the set of pixels of a DEM according to the eight elevation gradients, instead of using geomorphometric parameters, such as slope, height, and aspect, was first proposed in [20], in order to get more homogeneous the variables taken into account for the classification. Indeed, unlike the original height, that is a measure, both slope and aspect are angles that result from a computation that may be performed in different ways, thus leading to different results. In addition, the very small difference between 1° and 359° aspect angles, is never understood by no matter what used algorithm. On the opposite, dealing with eight simple differences in elevation gets simpler the use of any adopted classification method.

In this framework, in order to classify the pixels based on the eight given gradients, we applied an Exploratory Technique [21], since no intrinsic classification seems detectable in the data set. To this task we used the so-called Tandem Analysis, based on the use in sequence of a Principal Component Analysis (PCA, [6]) followed by a mixed classification algorithm, based on both K-means and Hierarchical Ascendant Classification (HAC) [7]. The rationale of the procedure is to reduce the noise in the data, that is expected to be relegated to the least important factors of PCA, and classify the units based on the Euclidean distance on the selected (most important) factor space. The classification criterion is based on the minimization of the inertia within classes and consequently to the maximization of the inertia between classes. As the number of units is dramatically large, the mixed procedure is used to speed up the process while trying to optimize the partition at the best. Thus, the K-means is used at the beginning to get quickly a partition in a reasonable number of classes (in our case at most 500) on which a HAC might be run. Then, once identified a partition in a suitable number of classes by cutting the HAC dendrogram at an optimal level, another K-means, run on this partition, can further optimize the classes, that this way become more compact.

Colouring the map



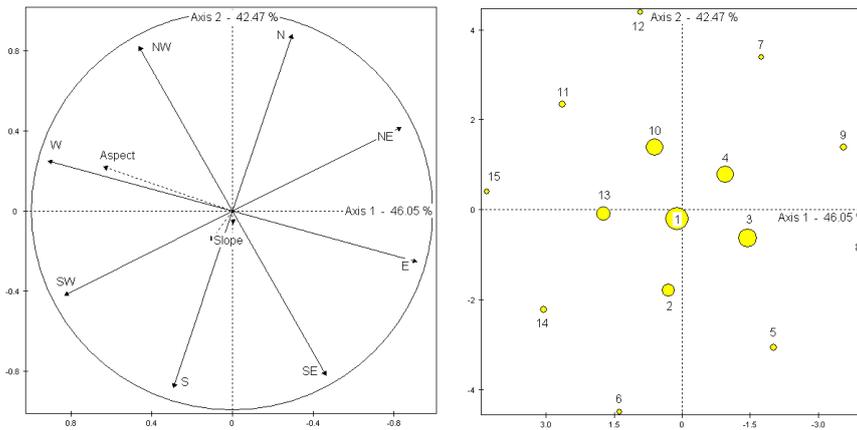
As in this paper our aim is to build thematic maps of the three volcanoes to be compared, we decided to colour the classes according to a uniform criterion, based on the average values of the geomorphometric parameters in the classes of belonging, namely aspect and slope. Thus, the pixels that belong to the same class have the same colour and classes with similar structure have similar colours. For this task, we considered the mean angles of both aspect and slope of each class to pinpoint the appropriate Hue and Saturation respective values, according to the Hue-Saturation-Lightness (*HSL*) colour modelling [22]. As for the Lightness a mean shadow value was chosen.

The tandem analyses results

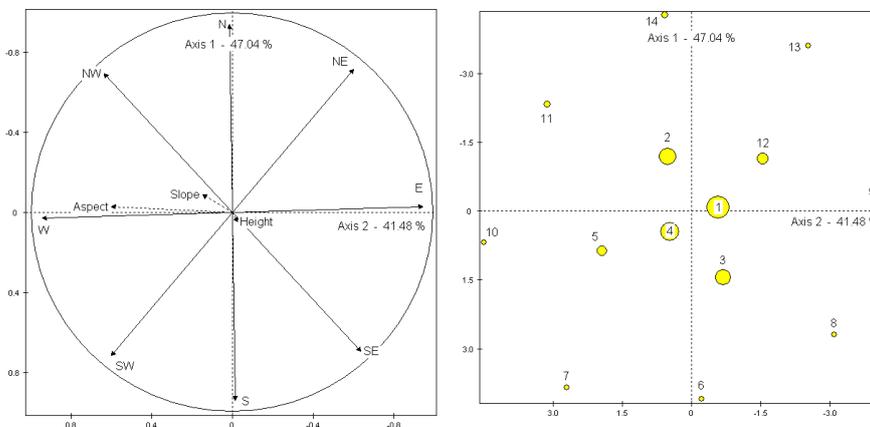
In Figure 9 the main results of PCA are represented for the three volcanic complexes. On the left side the eight characters are represented on the circle of correlations on the plane spanned by the first two eigenvectors of each analysis. On these planes the amount of inertia varies from 88.52% of Socompa and 88.53% of Parinacota to 89.98% of Tata Sabaya. This means that only about 10% of information is lost by limiting attention to the first two dimensions. In all cases the first axis slightly prevails on the second (Parinacota 46.05 vs. 42.47%; Socompa 47.04 vs. 41.48%; Tata Sabaya 48.51 vs. 41.47%). Concerning the orientation of the graphics, the two principal axes define the coordinates' system and we tried to orient them in order to keep at the best the geographical orientation of the gradients. In both Socompa and Tata Sabaya, the orientation is about N-S for the first axis and E-W for the second, whereas for Parinacota it is ENE-WSW for the first and NNW-SSE for the second. Thus, we can state that the largest pattern of slope variation, represented by the first axis, in Parinacota is rotated about 80° with respect to the other two volcanoes. The optimal partitions that resulted by classifying the pixels, according to the first two axes coordinates, are composed by 15, 14, and 13 classes, respectively. Their position on the first factor planes is visible on the graphics on the right side of Figure 9. In all cases the largest classes are close to the centre, corresponding to the large areas with low slopes surrounding the volcanic edifices. This is particularly evident for Parinacota and Socompa, certainly due to the selection of the DEM rectangular frames that contained the volcanoes. Whereas some proximity among classes of different volcanoes might be detected on the graphics, the different orientation of the principal axes does bias this examination. Thus, we shall compare the classes once characterized through their specific statistics.



PARINACOTA



SOCOMPA



TATA SABAYA

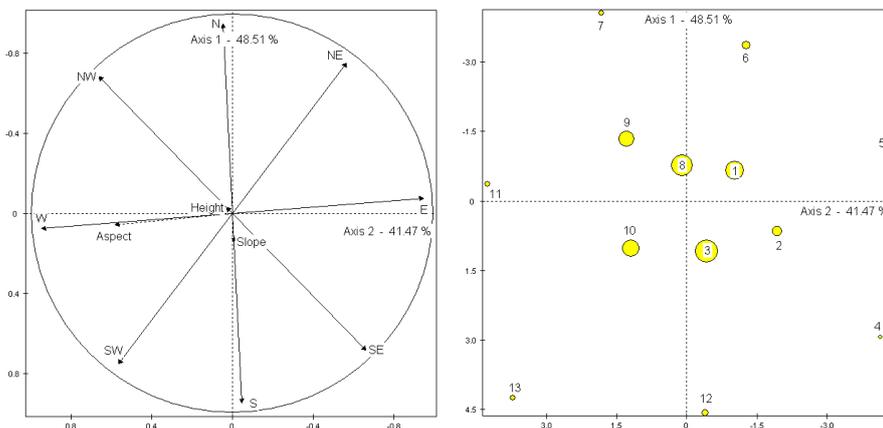


Figure 9. Results of tandem analysis applied to the three volcano complexes. Left: the characters on the circle of correlation (axes 1-2); right: the centroids of the built classes on the first PCA plane (axes 1-2).

In Tables 2, 3, and 4 the classes' structures are reported for the three volcanoes, Parinacota, Socompa and Tata Sabaya, respectively. There, the first column shows the sequential number of the class, the percentage of pixels belonging to the class, the area covered by the class in sq.km, and the colour given to the class in the classification map. The second column



provides a morphological interpretation of the class; the third column reports in stack mean elevation, slope, and aspect. The fourth column reports the average of the eight gradients with respect to the central pixel, in blue the positive (pointing out a descent in that direction) and in red the negative ones (pointing out an ascent). The arrow at the centre of the gradients matrix points to the largest descending slope.

In Figure 10 the three geomorphometric classes maps pertaining to the three volcanoes are shown: they are coloured according to the aforementioned criterion, taking into account the mean slope and aspect of each class. This way, a direct comparison between the three morphologies is possible.

The classes characters results

The preferential mean aspect values exhibited in Table 1 seem to be confirmed by the relative frequency distribution of aspect values, shown in Figure 11, where, on the whole, the three distributions appear exhibiting a quite rectangular shape. In fact, Parinacota appears generally more oriented Southward with larger spikes toward *N* but also *E* and *W*, Socompa is mostly oriented Northwestward with larger spikes toward *N* but also *W* and *NW* and Tata Sabaya seems largely oriented Eastward exhibiting spikes toward *N*, *E*, and *S*.

Figure 12 shows that the general classes' distributions of the three volcanic complexes appear quite uniform with respect to the aspect, showing always a symmetric radial distribution of all classes. On the other hand, mean slope values of all three volcanoes range between 5° and 40° , with an evident gap between 25° and 30° except for very few classes. These common characteristics of the three volcanic apparatuses, exhibited on both aspect and slope, may reflect a comparable evolution history as well as analogous ages. Another interesting feature is the occurrence of an analogous set of three classes in each volcanic complex. They are, for Parinacota, Socompa, and Tata Sabaya respectively, the classes 14-7-13 oriented toward SE, classes 6-6-12 oriented toward S, and classes 5-8-4 oriented toward SW. Indeed, in Figure 12 such classes appear quite overlapped and their composition seems even more evident in Figure 13, where the azimuth trend distribution of the mean values of their eight topographic gradients is shown. For a better insight of this situation, the pixels belonging to these classes are represented in colour on a 3D representation of each volcano (Figure 14). They are obtained by projecting the shaded reliefs (shown in Figure 8) on the Google Earth maps.



GEOMORPHOMETRIC CLASSES	RELIEF INTERPRETATION	MEAN ELEVATION SLOPE ASPECT	TOPOGRAPHIC GRADIENTS (m)		
1 (15.72% -> 16.8 Km ²) 	Quite flat areas slightly facing S	4754.1 m 6.0° 189.6°	-2.10 +0.42 +2.69	-2.51 ↓ +2.41	-2.82 -0.48 +1.97
(8.03% -> 8.6 Km ²) 	Gently sloping areas facing S	4950.9 m 17.4° 175.4°	-9.39 -0.59 +8.14	-8.96 ↓ +8.99	-8.01 +0.74 +9.42
3 (12.53% -> 13.4 Km ²) 	Gently sloping areas facing E-SE	4882.5 m 12.9° 111.1°	-8.52 -6.44 -4.12	-2.28 ↘ +2.13	+3.88 +6.25 +8.24
4 (12.27% -> 13.2 Km ²) 	Quite gently sloping areas facing NE	4776.3 m 8.2° 43.4°	+0.14 -2.70 -5.22	+2.95 ↗ -2.84	+5.29 +2.76 -0.0032
5 (4.170% -> 4.5 Km ²) 	Steeply sloping areas facing SE	5295.6 m 27.9° 135.1°	-22.21 -11.40 -0.13	-11.04 ↘ +11.1	+0.83 +11.57 +21.98
6 (2.71% -> 2.9 Km ²) 	Steeply sloping areas facing S	5357.7 m 35.3° 180.9°	-19.89 +0.72 +21.37	-21.06 ↓ +21.0	-20.08 -0.31 +20.19
7 (3.25% -> 3.5 Km ²) 	Averagely sloping areas facing N-NE	5218.9 m 25.9° 10.3°	-11.27 -2.73 -16.43	+14.1 ↗ -14.11	+16.48 +3.17 -10.78
8 (3.02% -> 3.2 Km ²) 	Averagely sloping areas facing E	5377.7 m 29.4° 93.3°	-17.71 -17.37 -15.82	-0.56 → +1.13	+16.50 +17.48 +18.16
9 (3.75% -> 4.0 Km ²) 	Steeply sloping areas facing NE	5139.7 m 26.3° 55.3°	-3.80 -12.63 -20.53	+8.61 ↗ -8.55	+20.16 +12.50 +4.27
10 (11.66% -> 12.5 Km ²) 	Quite gently sloping areas facing NW	4822.2 m 10.8° 306.5°	+7.19 +4.21 +1.03	+3.19 ← -3.82	-1.16 -4.31 -7.41
11 (4.16% -> 4.5 Km ²) 	Averagely sloping areas facing W-NW	5135.3 m 25.0° 288.9°	+17.64 +13.49 +9.20	+4.58 ← -4.38	-8.86 -13.62 -17.80
12 (2.50% -> 2.7 Km ²) 	Steeply sloping areas facing NW	5383.9 m 30.0° 329.4°	+23.21 +9.24 -5.06	+14.7 ↙ -14.66	+5.90 -8.85 -23.18
13 (9.10% -> 9.8 Km ²) 	Gently sloping areas facing SW	4885.0 m 15.4° 239.7°	+2.93 +7.02 +10.66	-4.12 ← +3.95	-11.06 -7.18 -3.09
14 (4.19% -> 4.5 Km ²) 	Steeply sloping areas facing SW	5181.6 m 29.8° 213.6°	-3.89 +10.10 +23.28	-14.06 ↙ +14.12	-23.49 -9.95 +4.46
15 (2.95% -> 3.2 Km ²) 	Steeply sloping areas facing W-SW	5261.8 m 31.4° 252.8°	+12.92 +18.14 +22.91	-5.17 ← +5.64	-22.66 -17.98 -12.10

Table 2. Characterization of the 15 classes of pixels of Parinacota Volcanic complex. For each class, the covered surface is pointed out, then a morphologic interpretation is given on the basis of the mean values of the main landform attributes and of the eight topographic gradients (negative values shown in red and positive ones in blue).



GEOMORPHOMETRIC CLASSES	RELIEF INTERPRETATION	MEAN ELEVATION SLOPE ASPECT	TOPOGRAPHIC GRADIENTS (m)		
1 (18.06% -> 76.1 Km ²) 	Quite flat areas slightly facing NE	3784.3 m 4.7° 44.8°	-0.39 -1.39 -2.37	+0.78 ↗ -1.20	+1.79 +1.06 -0.13
2 (13.22% -> 55.7 Km ²) 	Gently sloping areas facing NW-N	3913.1 m 12.7° 333.8°	+7.94 +2.80 -2.75	+5.39 ↖ -5.68	+2.45 -2.94 -8.33
3 (11.87% -> 45.0 Km ²) 	Gently sloping areas facing S-SE	4038.1 m 11.4° 164.3°	-6.51 -1.49 +3.54	-5.24 ↘ +5.06	-3.68 +1.40 +6.26
4 (14.91% -> 62.8 Km ²) 	Quite gently sloping areas facing W	3837.5 m 6.7° 250.9°	+2.08 +3.09 +4.04	-0.75 ← +1.37	-3.31 -2.67 -1.38
5 (7.26% -> 30.6 Km ²) 	Averagely sloping areas facing E-SE	4105.3 m 17.0° 251.9°	+5.49 +8.22 +10.45	-2.79 ↖ +2.45	-11.13 -8.55 -5.85
6 (3.34% -> 14.1 Km ²) 	Averagely sloping areas facing S	4455.0 m 29.0° 182.9°	-14.82 +0.67 +16.26	-15.69 ↓ +15.7	-15.91 -0.45 14.93
7 (2.67% -> 11.3 Km ²) 	Steeply sloping areas facing SW	4467.0 m 32.2° 216.4°	-2.79 +11.72 +25.23	-14.62 ↙ +14.6	-25.61 -11.65 +3.25
8 (3.37% -> 14.2 Km ²) 	Quite steeply sloping areas facing SE	4398.8 m 26.3° 136.3°	-20.19 -10.36 +0.12	-10.29 ↘ +10.4	+0.23 +10.38 +20.14
9 (3.06% -> 12.9 Km ²) 	Averagely sloping areas facing E	4519.5 m 25.2° 85.4°	-12.68 -14.39 -15.07	+1.27 → -1.13	+15.09 +14.37 +12.85
10 (2.60% -> 10.9 Km ²) 	Quite steeply sloping areas facing W	4346.8 m 30.6° 264.2°	+16.33 +18.14 +19.42	-1.54 ← +2.01	-18.90 -18.01 -15.81
11 (4.31% -> 18.2 Km ²) 	Steeply sloping areas facing NW	4285.4 m 28.6° 311.1°	+22.36 +12.59 +2.54	+10.4 ↖ -10.14	-2.05 -12.54 -22.39
12 (8.42% -> 35.5 Km ²) 	Averagely sloping areas facing NE	4089.2 m 14.4° 42.2°	+0.59 -4.81 -9.53	+5.40 ↗ -4.96	+10.01 +5.09 -0.002
13 (2.91% -> 12.2 Km ²) 	Steeply sloping areas facing NE-N	4444.8 m 31.0° 28.6°	+6.33 -8.98 -23.22	+15.1 ↗ -15.08	+23.00 +8.95 -6.07
14 (4.00% -> 16.9 Km ²) 	Quite steeply sloping areas facing N	4290.1 m 32.4° 351.9°	+20.39 +2.86 -14.81	+17.8 ↖ -17.93	+14.93 -2.69 -20.36

Table 3. Characterization of the 14 classes of pixels of Socompa Volcanic complex. For each class, the covered surface is pointed out, then a morphologic interpretation is given on the basis of the mean values of the main landform attributes and of the eight topographic gradients (negative values shown in red and positive ones in blue).

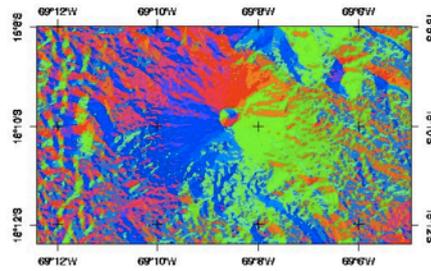


GEOMORPHOMETRIC CLASSES	RELIEF INTERPRETATION	MEAN ELEVATION SLOPE ASPECT	TOPOGRAPHIC GRADIENTS (m)		
1 (13.84% -> 11.8 Km ²) 	Quite gently sloping areas facing E-NE	4128.7 m 9.4° 68.4°	-2.88 -4.77 -6.79	+1.54 → -2.39	+5.53 +4.07 +1.85
2 (6.75% -> 5.8 Km ²) 	Gently sloping areas facing SE-E	4195.2 m 14.5° 113.2°	-9.51 -6.97 -3.53	-2.63 ↘ +3.30	+4.46 +7.36 +10.22
3 (16.76% -> 14.3 Km ²) 	Quite gently sloping areas facing SE-S	4069.9 m 9.3° 153.9°	-6.17 -1.99 +2.12	-4.25 ↘ +4.16	-2.22 +1.92 +5.98
4 (2.38% -> 2.0 Km ²) 	Steeply sloping areas facing SE	4419.1 m 31.1° 131.5°	-25.20 -14.06 -1.89	-11.54 ↘ +11.8	+2.69 +13.93 +24.80
5 (2.12% -> 1.8 Km ²) 	Averagely sloping areas facing E-NE	4481.9 m 27.8° 76.7°	-11.59 -15.75 -18.49	+3.80 → -3.26	+18.51 +15.78 +12.53
6 (4.95% -> 4.3 Km ²) 	Averagely sloping areas facing N-NE	4359.8 m 23.8° 25.7°	+5.97 -5.80 -17.09	+11.7 ↗ -11.61	+17.06 +6.02 -5.40
7 (3.03% -> 2.6 Km ²) 	Averagely sloping areas facing N-NW	4500.0 m 27.7° 344.0°	+18.81 +4.56 -9.97	+14.8 ↖ -14.72	+10.64 -4.16 -18.71
8 (16.29% -> 13.9 Km ²) 	Quite flat areas facing N	4030.5 m 5.9° 13.4°	+2.25 -0.37 -2.69	+2.90 ↑ -2.18	+3.58 +0.88 -1.45
9 (11.82% -> 10.1 Km ²) 	Gently sloping areas facing NW	4134.8 m 11.7° 326.1°	+7.55 +3.06 -1.89	+4.66 ↖ -4.99	+1.55 -3.34 -8.10
10 (12.43% -> 10.6 Km ²) 	Gently sloping areas facing SW	4088.8 m 10.2° 223.6°	-0.31 +3.42 +6.78	-3.71 ↖ +3.63	-7.04 -3.52 +0.28
11 (3.44% -> 2.9 Km ²) 	Averagely sloping areas facing W	4535.7 m 24.0° 278.8°	+15.10 +13.30 +11.55	+2.23 ← -1.74	-10.80 -13.31 -15.03
12 (3.66% -> 3.1 Km ²) 	Averagely sloping areas facing S	4351.9 m 29.6° 176.8°	-17.54 -0.90 +15.47	-16.79 ↓ +16.54	-15.39 +1.13 +17.44
13 (2.53% -> 2.2 Km ²) 	Steeply sloping areas facing SW	4431.1 m 32.9° 218.8°	-1.71 +12.83 +26.47	-14.70 ↖ +15.16	-26.67 -12.76 +2.75

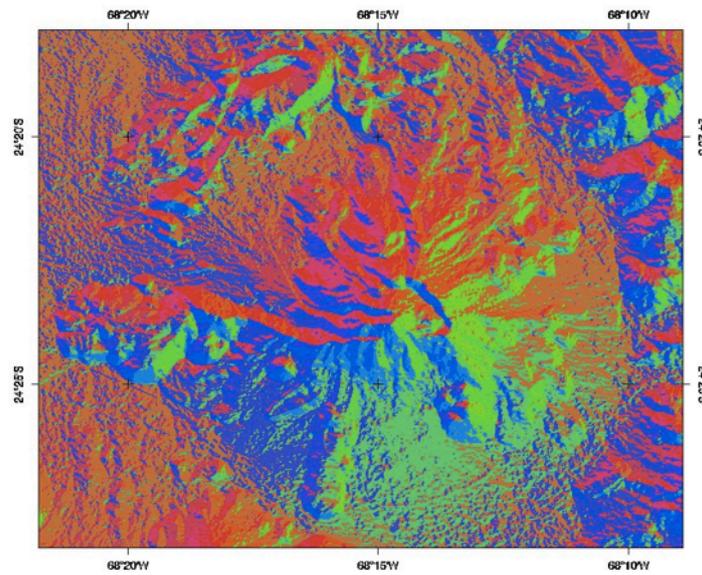
Table 4. Characterization of the 13 classes of pixels of Tata Sabaya Volcanic complex. For each class, the covered surface is pointed out, then a morphologic interpretation is given on the basis of the mean values of the main landform attributes and of the eight topographic gradients (negative values shown in red and positive ones in blue).



Parinacota



Socompa



Tata Sabaya

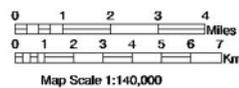
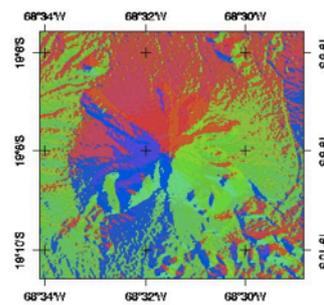


Figure 10. Colour coded maps of the three volcanic complexes, based on the classes that resulted from the Tandem Analyses. Hue and saturation values of the pixels reflect the average values of the classes' aspect and slope, respectively.

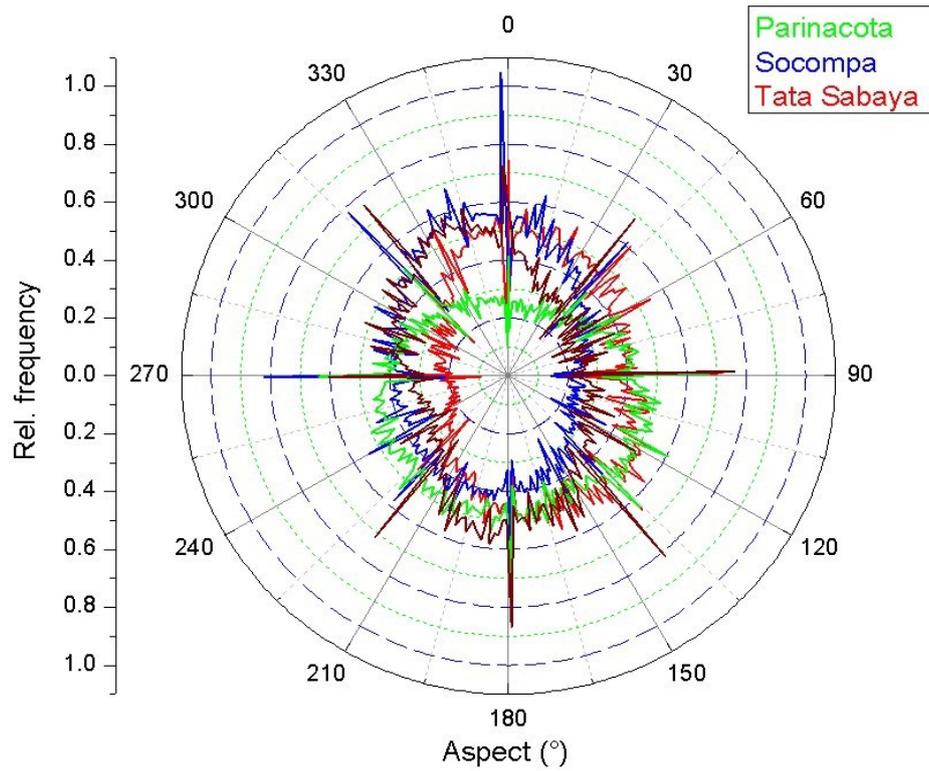


Figure 11- Polar chart of Aspect relative frequencies for the three volcanoes: (green) Parinacota; (blue) Socompa; (red)Tata Sabaya.

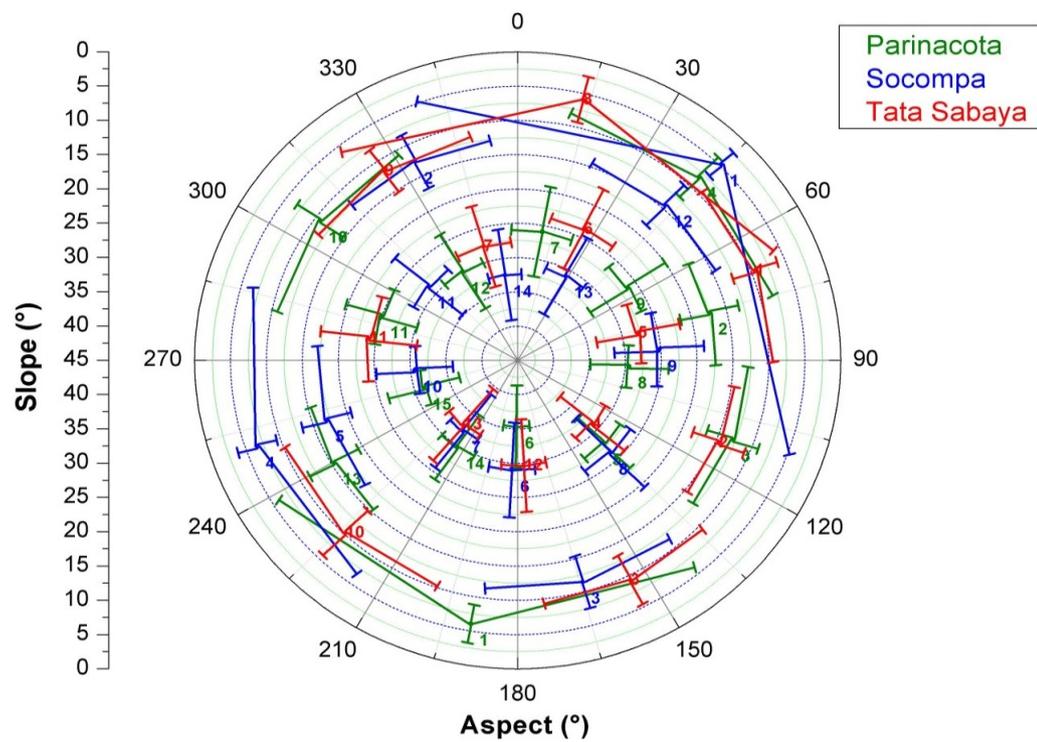


Figure 12 - Polar chart of Aspect (circular) vs. Slope (radial) average values of the classes of the three volcanoes: (green) Parinacota; (blue) Socompa; (red)Tata Sabaya. The whiskers indicate one standard deviation from the mean.

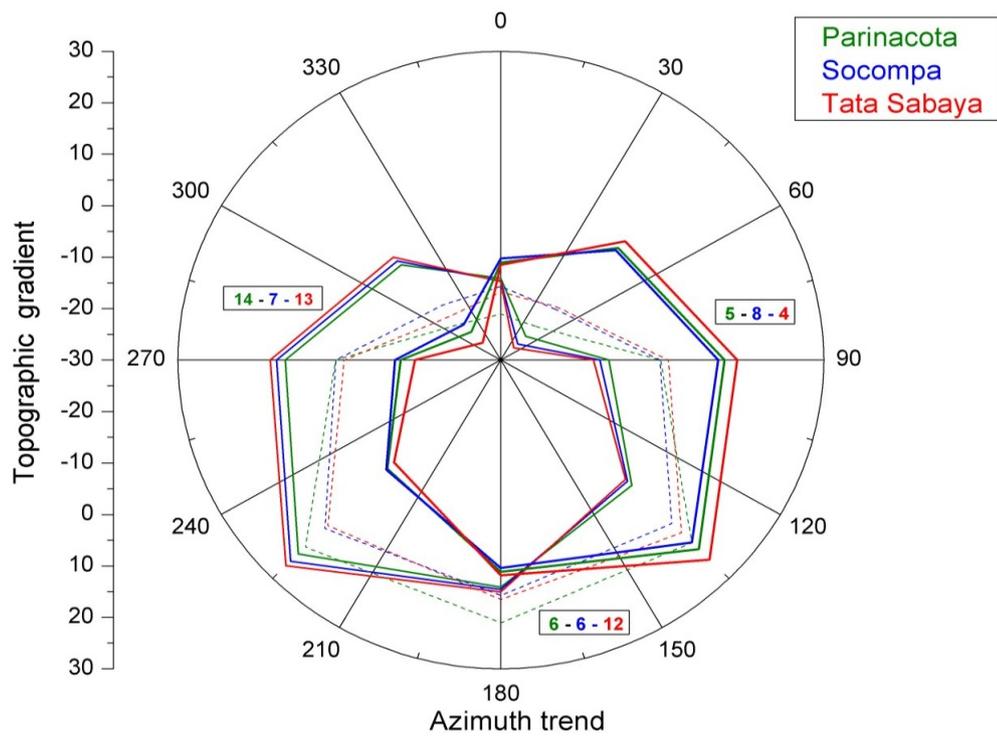


Figure 13 - Polar chart of azimuth trend (circular) vs. topographic gradient (radial) average values of the analogous classes of the three volcanoes: (green) Parinacota; (blue) Socompa; (red) Tata Sabaya.

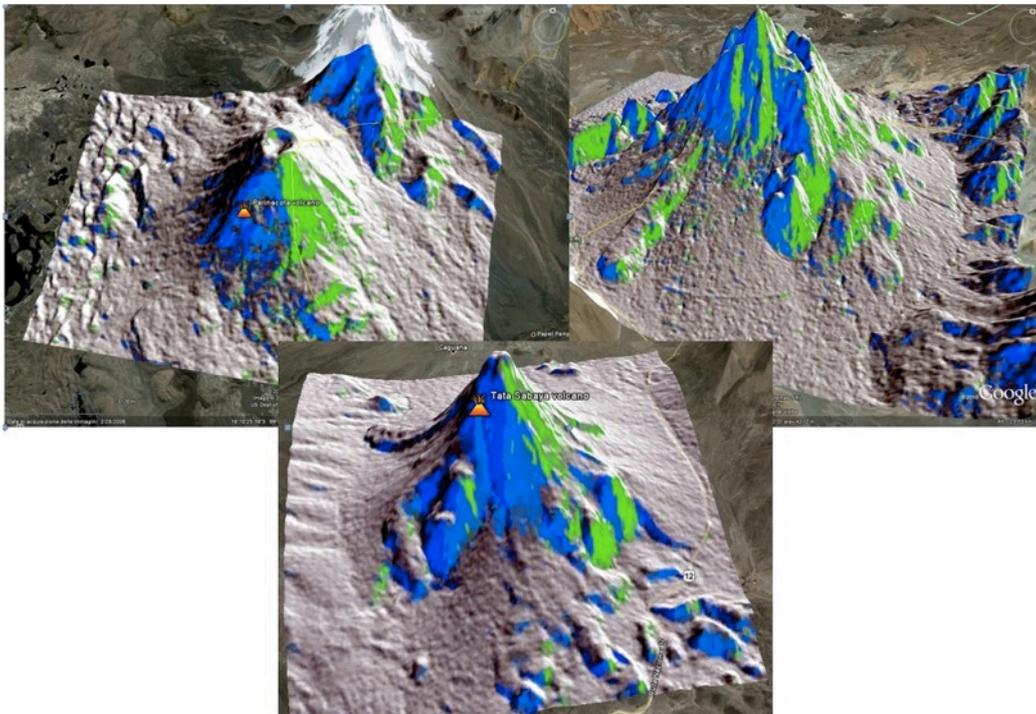


Figure 14 - 3D representations of the spatial distribution of the similar classes of the three volcanoes overlapped to shaded reliefs as illuminated from NW and seen from South.



DISCUSSION AND CONCLUDING REMARKS

If we consider that the three volcanoes analyzed here exhibit very different eruptive histories, we might highlight the importance of the obtained results. The analyzed volcanoes encompass geological and structural features different among one another, with very different eruptive dynamic processes and ages. Moreover, the three volcanoes were characterized by giant partial sector collapses of the volcanic edifices. Despite the differences listed above, it is possible to observe, as shown in the aspect vs slope diagram (Figures 12 and 13), a relevant overlapping of morphometric classes with slope values between 25° and 35° in plot sectors oriented toward SW, S, and SE (medium to high angle): Parinacota classes 14-6-5; Socompa classes 7-6-8; Tata Sabaya classes 13-12-4.

Tata Sabaya exhibits part of a big horse shoe shape scar open toward South, released by a sector collapse and characterized by relevant escarpments more than 50 m high [8]. It could indicate that these thick walls influence the morphological parameters we plotted. In fact, major slopes with angles more than 25° are oriented toward SW, S, and SE, coinciding perfectly with our analytical data. Partial sector collapses produce giant debris avalanche deposits with peculiar morphological facies. These characterize the deposit in the proximal-medial areas, such as Toreva blocks and Hummocks. Toreva and Hummocks are portions of the edifice that moved practically undisturbed down-flow from the source to their emplacement site. At Parinacota volcano, Toreva blocks are buried by younger deposits due to the post-collapse activity; so, it is possible just to see the spectacular Parinacota DAD in its medium-distal parts in the ring-plain. On the other hand, both Tata Sabaya and Socompa (Figures 6 and 7), present Toreva blocks and Hummocks in the proximal sectors that are characterized by abrupt slopes that could notably affect the increase of classes Southward oriented. For instance, even if Socompa shows the big collapse scar directed toward NW, wide Toreva blocks located in the scar show classes with high angle ($< 25^\circ$) oriented toward SW, S, and SE (Figure 10; Table 3).

It could be helpful to introduce the concept of rest angle, considering that a volcanic edifice is like a big and complex cone made by loose material. Whereas the rest angle for a sand cone is approximately 35° , the one of a real volcano edifice changes according its different features. Slopes of a conical volcanic edifice, made up by andesitic/dacitic ashes and lavas ($\%SiO_2 > 55\%$), usually are featured by a rest angle that range between 26° and 33° . Parinacota's conical edifice is not an exception. Thus, considering that our classes plot values vary between 25° and 35° , we expect that the conical shapes affect the morphometric results. This concept allows us to outline the erosive processes, which act during a volcano life, yielding strong relief differences between active and non-active volcanoes. Parinacota shows a perfect conical shape, as a result of the recent activity that continued to build up the cone. Socompa and Tata Sabaya still exhibit a collapse scar never completely masked by new material, because both volcanoes are not active since thousands of years. So, it is



reasonable to think that erosive processes acted during this period and affected the distribution of our classes with respect to active edifices. These remarks are in agreement with a recent work [4] that analyzed two volcanic complexes, one active and the other completely extinguished: they concluded that erosive processes are the main causes of the different morphometric classes plotted. Unlike these results, in this work we found three classes concentrated in the South sector very similar to one another in three volcanoes, two extinguished and one quiescent (last eruption $\sim 290 \text{ AD} \pm 300$ years, [23]).

Indeed, it is difficult to define univocally our results without a stronger analysis of other volcanic edifices. More examples are necessary to better understand the meaning of the cluster of morphometric classes Southward oriented. Furthermore, we don't perfectly know yet the responsibility of the regional tectonics that could act, at different scales, on the distribution of the morphometric classes. For example, gravitational deformation has developed at Socompa by substrata extrusion, expressed by a series of thrust anticlines. In other words, the Socompa failure event was promoted and triggered by the lateral spreading of the basement [9,24]. Do we know whether the analyzed volcanoes are connected with some regional Andean system? Many different aspects play important roles in the morphological features that each volcanic edifice presents and it is important to consider all of them to better understand the morphological response of a volcanic edifice.

Acknowledgements

This paper was developed in the framework of the collaboration of the first author as associated with the Institute of Acoustics and Sensor "O.M. Corbino" of the Italian C.N.R.. For the participation to the E-ICES 8 he was also granted by the Scientific Attaché of the Italian Embassy in Buenos Aires. These institutions are gratefully acknowledged.

REFERENCES

- [1] P. Grosse, B. van Wyk de Vries, P.A. Euillades, M. Kervyn and I. A. Petrinovic, 2012. Systematic morphometric characterization of volcanic edifices using digital elevation models. *Geomorphology*, 136, pp. 114-131.
- [2] M. Poscolieri, 2010. Geomorphometry as a value added to land analysis, Proceedings of the E-ICES 5 Conference, Malargüe (Arg), 24-27 November 2009, pp. 236-244.
- [3] S. Camiz, J.J. Denimal, and M. Poscolieri, 2011. Comparison of Classification Methods on Geomorphometric Data of Peteroa Volcano Area, Proceedings of the E-ICES 6, Buenos Aires, CNEA, CD-ROM, ISBN 978-987-1323-21-0, pp. 19-29.
- [4] S. Camiz and M. Poscolieri, 2012. Geomorphometric Maps of Volcanic Areas through Multidimensional Analyses, Proceedings of E-ICES 7, Buenos Aires, CNEA, pp. 57-66
- [5] P. Arabie, L. Hubert, 1994. Cluster analysis in marketing research, in R. J. Bagozzi (Ed.), *Advanced methods of marketing research*, London, Blackwell, pp. 160-189.



- [6] I.T. Jolliffe, 2002. *Principal Component Analysis*, New York, Springer, Springer Series in Statistics, 2nd ed.
- [7] A.D. Gordon, 1999. *Classification*. London, Chapman and Hall.
- [8] S.L. De Silva, J. P. Davidson, I. W. Croudace, and A. Escobar, 1993. Volcanological and petrological evolution of Volcan Tata Sabaya, SW Bolivia. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 55, pp. 305-335.
- [9] B. Van Wyk de Vries, S. Self, P.W. Francis, L. Keszthelyi, 2001. A gravitational spreading origin for the Socompa debris avalanche. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 105, pp.225-247.
- [10] J.E. Clavero, R.S.J. Sparks, H.E. Huppert, 2002. Geological constraints on the emplacement mechanism of the Parinacota avalanche, northern Chile. *Bulletin of Volcanology*, 64, pp. 40-54.
- [11] J. E. Clavero, R. S. J. Sparks, E. Polanco, M. S. Pringle, 2004. Evolution of Parinacota volcano, Central Andes, Northern Chile. *Rev. Geol. Chile*, 31 (2), pp. 317-347.
- [12] C.F. Ramirez, 1988. The geology of Socompa volcano and its debris avalanche deposit, northern Chile. MSc dissertation, Open University, Milton Keynes, UK.
- [13] K. Kelfoun, T. Druitt, B. van Wyk de Vries and M.N. Guilbaud, 2008. Topographic reflection of the Socompa debris avalanche, Chile. *Bulletin of Volcanology*, 70, pp 1169-1187.
- [14] G. Wadge, P.W. Francis and C.F. Ramirez, 1995. The Socompa collapse and avalanche event. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 66, pp.309-336.
- [15] S.L. de Silva and P.W. Francis, 1991. *Volcanoes of the Central Andes*. Springer-Verlag, Heidelberg, 216 pp.
- [16] <http://www.ersdac.or.jp/GDEM/E/4.html>
- [17] <http://www.gisdevelopment.net/technology/ip/mi03117pf.htm>
- [18] <http://www.gdem.aster.ersdac.or.jp/index.jsp>
- [19] N.I. Fisher, 1993. *Statistical Analysis of Circular Data*, Cambridge (UK), Cambridge University Press.
- [20] I. Parcharidis, A. Pavlopoulos, M. Poscolieri, 2001. Geomorphometric analysis of the Vulcano and Nisyros island: clues of the definitions of their volcanic landforms. In: Giovannelli, F. (Ed.), *Proc. of the International Workshop The Bridge Between Big Bang and Biology, Stromboli (Messina, It), 13 - 17 September 1999*, CNR President's Bureau of the National Research Council pub., Special Volume, pp. 310-320.
- [21] S. Camiz, 2001. *Exploratory 2- and 3-way Data Analysis and Applications*, Lecture Notes of TICMI, Tbilisi (Georgia), Tbilisi University Press, 2.
- [22] M. K. Agoston, 2005. *Computer Graphics and Geometric Modeling: Implementation and Algorithms*. London, Springer, pp. 300-306.
- [23] <http://www.volcano.si.edu/world/volcano.cfm?vnum=1505-012>



- [24] T. Davies, M. McSaveney and K. Kelfoun, 2010. Runout of the Socompa volcanic debris avalanche, Chile: a mechanical explanation for low basal shear resistance. *Bulletin of Volcanology*, 72, pp 933-944.



El programa de acciones intersectoriales para la reducción del Riego de Desastres

Ing. Bruno Capra

*Polo Tecnológico Constituyentes SA, Juan B. de Lasalle 4397 (B1603ALO) Villa Martelli,
Provincia de Buenos Aires, Argentina,
bcapra@citedef.gob.ar*

INTRODUCCIÓN

En la práctica de la atención de las emergencias por desastres naturales o antrópicos se observa en la Argentina la necesidad de trabajar para lograr un nivel más alto de referencia central y coordinador de la acción estatal, así como para mejorar la organización, la articulación y el aprovechamiento de los recursos, saberes y programas existentes. La ausencia de estos factores implica una pobre o inadecuada respuesta en caso de catástrofes.

Al mismo tiempo se observa en todo el país una preparación técnica que puede llegar a niveles de excelencia en algunos campos. Varios organismos públicos realizan estudios y programas de distinta naturaleza referidos al territorio nacional, en todo o en parte.

En el Polo Tecnológico Constituyentes - P.T.C.S.A. están presentes las mayores instituciones nacionales de primer nivel en el manejo de la creación, formulación y administración de tecnología de la Argentina. Son estos: CITEDEF Instituto Investigaciones Científicas y Técnicas para la Defensa, CNEA Comisión Nacional de Energía Atómica, INTA Instituto nacional de Tecnología Agropecuaria, INTI Instituto Nacional de Tecnología Industrial, SEGEMAR Servicio Geológico Minero Argentino, UNSAM Universidad Nacional de San Martín.

Los institutos disponen de experiencias específicas en las catástrofes a preveer que permiten profundizar o celebrar acuerdos para adecuar o replicar experiencias.

ANTECEDENTES

Programa de Acciones Intersectoriales: la 1º Etapa año 2010 y 2011.

A partir de estas hipótesis sobre la disponibilidad de capacidades y recursos disponibles en la Argentina para encarar un manejo adecuado de las catástrofes, el POLO T.C. S.A. ha realizado durante el año 2010 rondas de entrevistas dirigidas a articular con varias organizaciones el análisis situacional requerido con cuyos aportes se ha armado un anteproyecto.

A los fines de identificar la forma adecuada de trabajo que permita en el tiempo atender y mejorar permanentemente la coordinación en los ciclos de las catástrofes que la literatura reconoce: “antes - durante - después”, se acordó realizar un Ciclo de Intercambio y Trabajo Profesional con la metodología Información - Consulta - Consenso (ICC) que forma parte de



las metodologías de Planificación Participativa y Gestión Asociada desarrolladas por FLACSO - Facultad Latino Americana de Ciencias Sociales.

En la etapa de consenso se organizan tres grupos de trabajo, que empezaron a trabajar en el año 2012: • 1. Aspectos Institucionales de la Gestión Integral. • 2. Sistematización de herramientas para la Gestión Integral. • 3. Acción Integrada en lo local. Con más de un grupo de Gestión y Apoyo - DNPC y PTC SA que contó con el acompañamiento del INTI: Trabajo y Educación a Distancia y del Programa PPGA de Flacso.

La coordinación metodológica, registro y sistematización documental estuvo a cargo de un equipo del Programa PPGA de FLACSO.

La 2º Etapa año 2012

En esta 2º etapa DNPC y PTC SA acordaron trabajar como Gestión Asociada, en torno a las acciones consensuadas a través de Grupos de Trabajo integrados por las organizaciones participantes: • Aspectos Institucionales, • Sistematización de Herramientas, • Acción Integrada en lo Local. Ver Figura 1.

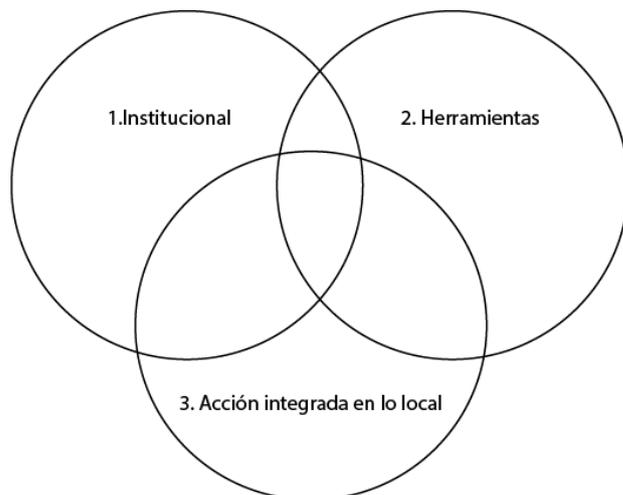


Figura 1

Al comienzo del 2012 se acordó entre la Dirección Nacional de Protección Civil (como requirente) y el Polo Tecnológico Constituyentes S.A. (como proveedor) elaborar un Convenio Marco de Colaboración Tecnológica.

La 2º etapa, por lo tanto, se define como el período preparatorio desde el comienzo del 2012 hasta la concreción del convenio, para planificar las acciones a desarrollarse en el ámbito del Convenio y fuera del mismo.



La coordinación metodológica, registro y sistematización documental está a cargo de un equipo del Programa PPGA de FLACSO. El acompañamiento virtual es realizado por el INTI, Trabajo y Educación a Distancia.

METODOLOGÍA

El Polo Tecnológico Constituyentes SA ha fundamentado este Programa de Acciones Intersectoriales para la Reducción del Riesgo de Desastres, sobre la base que hay múltiples recursos disponibles en la Argentina, pero que los mismos no logran aplicarse adecuadamente a las necesidades existentes y que con frecuencia los proyectos suelen no llegar a desarrollarse o se traban por los motivos más variados.

Con el objetivo de articular las acciones intersectoriales del programa en pos de una efectiva respuesta a las necesidades locales, el Polo ha tomado la decisión de elegir la Metodología de Planificación Participativa y Gestión Asociada - PPGA - de la Facultad Latinoamericana de Ciencias Sociales - Flacso.

La Dirección Nacional de Protección Civil ha explícitamente convalidado esta voluntad política sobre la forma de encarar el Programa en el momento de elaborar el Convenio Marco de Colaboración Tecnológica y de acordar trabajar la 2º etapa como Gestión Asociada DNPC y PTC SA.

En efecto, enfocado desde la metodología, el convenio tiene la singularidad de facilitar que la DNPC canalice adecuada y eficientemente las necesidades y demandas tecnológicas del sistema nacional vinculado a desastres y que el PTC SA despliegue su capacidad y la de sus integrantes para satisfacerlas, pudiendo convocar -para ese menester- a otras organizaciones, entre ellas las que participan del Programa de Acciones Intersectoriales y de sus grupos de trabajo.

De esta manera la DNPC, con sus responsabilidades como organismo jerárquico y el PTC SA, como actor no jerárquico y facilitador de una relación horizontal, buscan optimizar sus acciones conjuntas en un marco de complementariedad y transparencia.

El Convenio no es exclusivo, por lo que el PTC SA sigue trabajando con otras organizaciones afuera del mismo, pero siempre manteniendo una relación interinstitucional transparente, que es la base de la metodología participativa elegida.

Participantes del Programa de Acciones Intersectoriales para la RRD, de los Grupos de Trabajo de la 2º Etapa y de la Mesa Interinstitucional de la 3º Etapa actualmente en curso.

- CITEDEF: Presidencia, División Antenas, Investigaciones Toxicológicas,



- Departamento Modelado y Manejo de Crisis. • COMISIÓN CASCOS BLANCOS.
- COMISIÓN NACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA - ICES - Centro Internacional para el Estudio de la Tierra - Nodo Argentino. • CONSEJO PROVINCIAL EMERGENCIAS Prov. Buenos Aires. • DEFENSA CIVIL EMC FFAA Estado Mayor Conjunto de las Fuerzas Armadas. • DNPC Dirección Nacional de Protección Civil.
 - GPIP Grupo Proveedores Información Primaria. • INTI Instituto Nacional de Tecnología Industrial: INTI Ambiente, INTI Área Trabajo y Educación a Distancia, INTI Construcciones. • MINISTERIO DE SALUD DE NACIÓN: CENARR Centro Nacional Alerta y Respuesta Rápida y DINESA Dirección Nacional Emergencias Sanitarias.
 - INSTITUTO DE GEOGRAFÍA Facultad de Filosofía y Letras Universidad de Buenos Aires - PIRNA Programa de Investigaciones Recursos Naturales y Ambiente.
 - PLAN ESTRATÉGICO TERRITORIAL ARGENTINA 2016.
 - POLO TECNOLÓGICO CONSTITUYENTES SA.
 - PROTECCIÓN CIVIL VICENTE LÓPEZ, Prov. de Buenos Aires.
 - SEGEMAR - Servicio Geológico Minero Argentino.
 - UNSAM Universidad Nacional de San Martín, Prov. de Buenos Aires.
 - Equipo de Coordinación Metodológica del Programa de Planificación Participativa y Gestión Asociada Flacso, Facultad Latinoamericana de Ciencias Sociales.

RESULTADOS

Desarrollo de propuestas para el Convenio Polo-DNPC y para actividades fuera del mismo, según Grupos de Trabajo.

Durante la segunda etapa, de febrero a agosto 2012, los Grupos de Trabajo que se habían consensado al finalizar el Ciclo del 2011 profundizaron el proceso emprendido de articulación y construcción de un sujeto colectivo, llevando adelante algunos proyectos, generando acuerdos que los facilitarían y elaborando propuestas para viabilizar su concreción a partir de la firma del Convenio Polo TC SA - DNPC y otros, por fuera del Convenio.

En mayo 2012 en Cafayate, Salta, el Polo, invitado por la DNPC, presentó el Programa de Acciones Intersectoriales en la RRD en la 5° Reunión del Consejo Federal de Protección Civil y Gestión del Riesgo, empezando así su relación con las provincias.

Resultado del 1° Grupo de Trabajo de Aspectos Institucionales de la Gestión Integral de la RRD.

El 1° Grupo trabajó para definir los criterios y los presupuestos básicos, sobre los cuales se diera una base conceptual para orientar el trabajo del Programa de Acciones Intersectoriales



Como resultado logró la redacción del Nuevo Paradigma de Reducción del Riesgo de Desastres y sus parámetros básicos. Esta Versión fue consensuada entre febrero y julio 2012 por el 1er Grupo de Trabajo de Aspectos Institucionales de la Gestión Integral. Se ampliará la base de consenso, a través del debate en otros grupos.

Considerando que un paradigma es el conjunto de experiencias, vivencias y valores que repercuten y condicionan el modo en que se ve la realidad y se actúa en función de ella, en un momento histórico y en un lugar determinado, se orientó la tarea a poner en palabras la forma de encarar la reducción del riesgo de desastres, en la Argentina de hoy, en el actual contexto internacional, con la finalidad de tener un lenguaje común y un encuadre explícito que permita articular y optimizar las acciones a emprender, entre el Estado y la Comunidad.

La Evolución del Paradigma

El paradigma sobre la comprensión de los desastres ha cambiado. Durante mucho tiempo se focalizó la atención sobre la respuesta a los efectos inmediatos de los sucesos. Más adelante se agregó la premisa de la recuperación. Por último la preocupación sobre los procesos anteriores, cuando cobró sentido el antes y se introdujeron los conceptos de prevención y mitigación.

La secuencia de efectos se completó: el ciclo de un desastre tiene un antes, un durante y un después. Hoy, las amenazas entendidas como eventos físicos latentes se relacionan dialécticamente y dinámicamente con las vulnerabilidades de una sociedad. Por lo que el riesgo pasa a ser concebido como una construcción comunitaria, estrechamente vinculado con el proceso social, económico y político del desarrollo. En efecto los desastres son con frecuencia el resultado de riesgos no manejados y a su vez constituyen un factor de amenaza para el desarrollo sustentable.

Por todo esto se superaron las nociones de prevención y mitigación de los desastres para incorporarlas en la gestión del riesgo. Se entiende el riesgo de desastres como la probabilidad de daños y pérdidas futuras relacionadas con el impacto de un evento físico externo, sobre una sociedad vulnerable.

Como la gestión del riesgo apuntaba principalmente al "durante" (sistema reactivo), el actual paradigma de intervención incorporó el "antes" y la recuperación con resiliencia, pasando a denominarse de Reducción del Riesgo de Desastres.

Este cambio conceptual implica la ampliación y replanteo de las responsabilidades institucionales, que van más allá de los organismos que se ocupan de desastres. Se



involucran otros actores nacionales, provinciales, municipales, como instancias de planificación del desarrollo, de la gestión ambiental y urbana, municipalidades, organizaciones comunitarias, privados, ONGs.

A su vez la Reducción del Riesgo trasciende a los saberes expertos. Es una cuestión de todos aunque la responsabilidad de mayor jerarquía sea la del Estado.

La Reducción del Riesgo de Desastres debería funcionar mejor si fuese una Política de Estado. Para eso es necesario:

- Incorporarla en todos los marcos, procesos, objetivos y planificaciones del desarrollo en los niveles nacionales, regionales, provinciales y municipales.
- Incorporarla taxativamente en las normativas legales.
- Fijar las responsabilidades de los organismos a cargo de las actividades y la coordinación entre instituciones.
- Fijar las responsabilidades y establecer parámetros que regulen la participación del sector privado y de las organizaciones no gubernamentales.
- En las concesiones trabajar en conjunto con las empresas contratistas en la planificación de la Reducción del Riesgo.

Los 10 Parámetros del Nuevo Paradigma. Versión preliminar a seguir debatiendo en otros grupos.

1. Modelo de desarrollo y reducción del riesgo con resiliencia. Versión Preliminar.

La concreción del riesgo afecta tanto al presente como al futuro de una sociedad y por ello, es parte constitutiva del concepto de desarrollo sustentable, entendido como la posibilidad de satisfacción de las necesidades de las generaciones presentes sin comprometer las posibilidades de las del futuro para atender sus propias necesidades. Asimismo, el nivel de desarrollo de una comunidad, medido en términos culturales, socio-económicos y educativos, condiciona la exposición y la vulnerabilidad social de la misma a este tipo de situaciones.

Por lo tanto un modelo de desarrollo sustentable debe incorporar el concepto de resiliencia, entendida como la capacidad de un sistema, comunidad o sociedad expuestos a una amenaza para resistir, absorber, adaptarse y recuperarse de sus efectos de manera oportuna y eficaz. De esta manera se incrementan de manera positiva las posibilidades de recuperación de las condiciones de vida normales de una comunidad (previas al incidente) y aumentan, además, las posibilidades de minimizar el impacto de los eventos cuando estos no pueden ser evitados.

La reducción del riesgo trasciende a las organizaciones que se ocupan de los desastres y tiene que estar incorporada a la planificación sectorial y territorial del desarrollo.



El nuevo paradigma requiere también que las organizaciones relacionadas con la atención de los desastres se vinculen entre sí y que aquellos con capacidad de decisión en el modelo de desarrollo generen espacios o instancias específicas de participación de los distintos actores involucrados.

Así, mediante la relación entre aquellos que piensan y trabajan el modelo de desarrollo y aquellos que trabajan con los desastres se genera un modelo de reducción del riesgo de desastres.

2. La cuestión federal y el papel de las provincias. Versión Preliminar.

El federalismo presupone el reconocimiento de las autonomías provinciales.

El diálogo entre la Nación y las Provincias debe ser promovido e institucionalizado en el marco de un Consejo Federal, de forma tal que el reconocimiento del nuevo paradigma resulte en compromisos formales y crecientes acciones conjuntas, constitutivas de una nueva práctica entre las jurisdicciones.

Todas las provincias, posean o no marcos legales para el funcionamiento de los sistemas de atención de las emergencias, deben crear o actualizar sus leyes en función de los parámetros del nuevo paradigma para lograr paulatinamente una coherencia nacional en la materia.

3. La responsabilidad de los municipios. Versión Preliminar.

Los desastres se manifiestan en una dimensión territorial, que no coincide necesariamente con los límites jurisdiccionales. Al responder a peligrosidades transfronterizas, pueden cubrir extensiones muy variadas en diferentes municipios, provincias y países.

El municipio es siempre el responsable primario y esencial, para actuar localmente en la reducción del riesgo. En consecuencia, es sumamente importante que el nivel municipal esté preparado y organizado para cubrir ese papel.

Para actuar, el municipio necesita tener un plan. Todo municipio debe elaborar un plan de reducción del riesgo de desastres, para orientar su gestión.

Las legislaciones provinciales deben promover y apoyar los planes municipales.

El nivel nacional debe consensuar con las provincias las acciones que realicen en el ámbito municipal.

4. La intersectorialidad y la capilaridad del sistema institucional. Versión Preliminar. La gestión del riesgo requiere de la participación de todos los sectores, tanto del estado como de la comunidad. Para lograrlo es necesario generar un proceso de sensibilización sobre el nuevo paradigma en todos los sectores y en todos los niveles, municipales, provinciales y nacionales, que tenga un profundo y extendido alcance de capilaridad, que facilite a los diferentes actores conocer y cumplir con sus roles.

Un proceso de intersectorialidad implica brindar información clara, actualizada y confiable, a la vez que facilitar la construcción de espacios que permitan articular las diferentes formas de trabajo, informar y capacitar.



5. La articulación vertical - horizontal. Versión Preliminar.

La articulación debe concebirse como una cuestión globalizante, integral, que contemple todos los aspectos comprometidos con la gestión del riesgo, creando las condiciones para un entramado entre los actores involucrados del Estado y de la comunidad. Una adecuada articulación entre diferentes instituciones, entre niveles municipales, provinciales, nacionales y al interior de cada organización, requiere instancias de verticalidad y de horizontalidad.

La verticalidad del estado provee estructuras que, definiendo niveles de jerarquía, competencias y responsabilidades, permiten ordenar la tarea.

La horizontalidad permite articular la unidad y la diversidad, logrando una combinación entre los saberes y los recursos disponibles.

Para que la horizontalidad pueda desplegar sus potencialidades, se requiere la construcción de relaciones de confianza, que a partir de reconocer a través del diálogo los problemas comunes y el recíproco beneficio de compartir esfuerzos, permitan "confiar" que se cumplan los acuerdos por conveniencia mutua.

6. La articulación y el consenso entre niveles jurisdiccionales. Versión Preliminar

Los desastres no reconocen límites territoriales ni cuestiones de competencia.

Por ello, toda norma sobre la temática debe contemplar la necesaria "interjurisdiccionalidad" que permita determinar la competencia de sus respectivas autoridades y resolver, previa y adecuadamente, la conflictividad subyacente por la coincidencia de espacios territoriales municipales, provinciales, nacionales, como también la interinstitucionalidad a partir del involucramiento de diversas áreas de un mismo gobierno, y de éstos con los diversos actores concurrentes, públicos, privados, institucionales y de la sociedad civil.

La claridad normativa de las competencias inter e intrainstitucionales debe ser acompañada por la construcción de relaciones de confianza y cooperación, que permitan una eficiente y fluida articulación entre los actores involucrados y a su vez faciliten el consenso entre las diferentes instancias.

7. La Cooperación - Criterios nacionales e internacionales. Versión Preliminar.

Partiendo de la base que la atención de un desastre, cuando está por suceder o sucede, puede ser de tal magnitud que supere los medios disponibles de una jurisdicción, la "cooperación coordinada" es la herramienta adecuada para encararlo y desarrollar las tareas de prevención, preparación y respuesta.

Se debe solicitar apoyo a las jurisdicciones vecinas (municipios) o superiores (provincia y nación) o internacionales. La cooperación puede ser espontánea, cuando el hecho está por suceder o sucede, o planificada cuando se prepara un plan y se celebran acuerdos previos de "ayuda mutua".

Para optimizar la cooperación y articular de la mejor manera la participación de los diferentes niveles y actores, se deben priorizar las metodologías generadas a nivel



internacional, a las que adhiere nuestro país, pero siempre adecuándolas a nuestra realidad a través de los organismos competentes y aprovechando el saber acumulado.

8. Los medios de comunicación y los desastres. Versión Preliminar.

En las emergencias y/o desastres las comunicaciones son esenciales, para actuar en las tres etapas de prevención, respuesta y recuperación.

Los medios de comunicación deben incluir estrategias de sensibilización pública para lograr que la comunidad desarrolle hábitos preventivos y de conducta para actuar ante los peligros locales.

También se deben generar vinculaciones fluidas con los periodistas especializados para que comprendan e informen sobre la situación producida, conociendo la relación existente entre la reducción de riesgo y las políticas nacionales, regionales y locales de desarrollo sustentable.

En la mayoría de las situaciones, en especial las de respuesta, las comunicaciones convencionales colapsan. Por esta razón, en los sistemas de atención de emergencias es de vital importancia asegurar la vinculación de los actores para agilizar el alerta temprana, la puesta en marcha de los auxilios y la información a la sociedad ante tales situaciones, previéndose circuitos redundantes.

Se deben diseñar medios especiales para encarar estos requerimientos con sus múltiples variables.

9. Los sistemas de información integrados. Versión Preliminar.

En sociedades complejas como las actuales, las instituciones y la población deben contar para la toma de decisiones con información electrónica integrada y adecuada sobre las amenazas, las vulnerabilidades y los riesgos, así como sobre la vigilancia, la alerta temprana, las comunicaciones del sistema y las comunicaciones a la población ante un desastre.

Las instituciones y la población deben estar en condiciones de reconocer, interpretar y utilizar adecuadamente la información proporcionada, por lo que se debe fomentar la conformación y sostenimiento de métodos, herramientas y espacios interdisciplinarios, intersectoriales e interjurisdiccionales durante las tres instancias de la reducción del riesgo.

A su vez en la búsqueda de información en torno a un evento en un territorio determinado se debe poner en valor el proceso histórico del mismo, reconociendo los saberes y experiencias de su comunidad local y/o regional.

10. La sensibilización universal. Actores del estado, actores privados y de la comunidad. Versión Preliminar.

La necesidad de involucrar al conjunto de la población en la reducción del riesgo implica trabajar en la instancia de prevención estableciendo un vínculo entre la rutina cotidiana de esa población (momento sin desastre) y la ruptura de esa rutina (momento del desastre).



Es central desarrollar distintas estrategias de sensibilización que abarquen todos los segmentos del entramado social teniendo en cuenta las diferencias etáreas, educacionales, laborales, socio económicas y culturales de la población, complementándolas con la educación de niveles estudiantiles, personas adultas, integrantes del sistema y funcionarios políticos responsables.

Las estrategias deben elaborarse en función de las expectativas, intereses y responsabilidades de cada uno de acuerdo a los principios básicos de la resiliencia, que deben estar siempre estructuralmente integrados.

Los responsables del estado deben conocer y percibir la importancia de vincular las políticas de reducción con el desarrollo sustentable, los privados deben tomar las medidas para preservar la producción frente a un eventual desastre, las organizaciones no gubernamentales deben acompañar en sus campos específicos de promoción, asistencia y capacitación y la comunidad debe aprender a proteger la familia y las condiciones básicas de vida frente a un evento.

Resultados del 2° grupo de Trabajo: Herramientas para la Gestión Integral de la RRD

El objetivo del Grupo fue “Abordar y sistematizar las herramientas técnicas, tecnológicas, sociales, metodológicas disponibles, en desarrollo o a crear según vacancias identificadas, aplicables a la reducción del riesgo de desastres naturales o antrópicos.

Se identificaron posibles aportes de soluciones tecnológicas y de los actores que podrían convertirlos en investigaciones, desarrollos y/o proyectos para presentar a la DNPC.

1. Propuesta de Elaboración de un Plan de Prevención y Respuesta a Emergencias Volcánicas

2. Propuesta de Desarrollo para la construcción de un Dirigible para la RRD

3. Proyecto Aprovechamiento del Sistema Crisis, Departamento de Modelado y Manejo de Crisis - DMMC - de CITEDEF.

3.1 Actividades y acuerdos: Participación Plan Abordaje Territorial AHÍ, Coordinación de DMMC con el Grupo de Proveedores de Protección Primaria (GPIP) para el dictado de cursos sobre interoperabilidad GIS, Participación de DMMC en Talleres Nacionales y Regionales, Carta de Intención Polo TCS.A. y PIRNA (Inst. Geogr. UBA), Propuesta Conicet para incluir a DMMC en UNIDEF.

3.2 Propuestas de aprovechamiento del Sistema Crisis para la 3° Etapa.

- 3.2.1 Plan Piloto para ensayar en un municipio la utilización del Sistema Crisis.
- 3.2.2 Participación del Sistema Crisis en la Propuesta del Plan de Prevención y Respuesta a Emergencias Volcánicas.
- 3.2.3 Con INTI, Trabajo y Educación a Distancia: Capacitación a distancia para armar una versión de capacitación a distancia para el aprovechamiento del Sistema Crisis. Analizar aspectos comunicacionales del Sistema Crisis desde la experiencia en didáctica y aprendizaje y contribuir a facilitar su correcta utilización.



Resultados del 3° grupo de Trabajo: Acción Integrada en lo Local para la Gestión Integral de la RRD

El objetivo del 3° Grupo fue “organizar prácticas territoriales experimentales orientadas a una gestión local integrada”.

Se elaboraron las siguientes propuestas y Convenio a la firma:

1. • Proyecto de Tratamiento de Desastres en Municipios: 1.1 • Promover las Ciudades resilientes en el ámbito de la Campaña “Desarrollando Ciudades Resilientes” promovida por la Estrategia Internacional para la Reducción de Desastres (EIRD). 1.2 • Propuesta Plan Piloto para ensayar en un municipio la utilización del Sistema Crisis.
2. • Sensibilización Federal: 2.1 • Capacitación de las Provincias. Propuesta de actividades para construir un conocimiento colectivo compartido entre el Estado y la sociedad, sobre la gestión local de la RRD. 2.2 • Convenio en elaboración entre el Polo y el Consejo de Emergencia de la Provincia de Buenos Aires, para colaboración e intercambio de información para la RRD.

CONCLUSIONES Y REFLEXIONES

Creación de la mesa Interinstitucional

Al finalizar esta 2° etapa, los tres grupos de trabajo se han fusionado en uno sólo, por haber completado su tarea de redacción de parámetros, el GT de Aspectos Institucionales con los GT de Herramientas y Acción Local. Espontáneamente han empezado a autodenominarse “mesa”. Después de explicitarlo, han acordado llamarse “mesa interinstitucional”.

Se entiende que la convocatoria realizada al inicio por el Polo TC SA fructificó en la constitución de esta mesa de trabajo. A partir de la metodología participativa utilizada y la disposición de las instituciones y sus representantes, la mesa asumió el programa como propio, de tal forma que hoy tienden a identificarse. Así esta mesa y su forma de trabajo no son ajenas una a la otra y hacen al programa, es decir constituyen un escenario que se fue formalizando para articularse y planificar de manera participativa.

Esta mesa no es externa, hace parte de la forma de trabajar del programa, es un escenario que se fue formalizando y pudo articularse y planificar de manera participativa, logrando convertirse en un sujeto colectivo portador de un conocimiento colectivo.

Por todo esto, la mesa seguirá trabajando en la etapa 3 con grupos de trabajo y plenarios, posiblemente ajustando la composición de los grupos de trabajo y la frecuencia de los encuentros.

A la vez, se buscará intensificar los medios para mantener canales estables de comunicación e intercambio entre las instituciones, promoviendo la consolidación de la comunidad de



práctica más amplia, en forma paralela y complementaria a los grupos de trabajo puntuales y sus planes.

Se invitará a integrarse a otros actores, en una lógica de agregación permanente, lo que es fundamental para ir profundizando el proceso.

Apropiación de parte del Programa de la concepción del nuevo paradigma para la RRD
Con el trabajo de redacción de los parámetros del nuevo paradigma para la reducción del riesgo de desastres, el grupo de trabajo de aspectos institucionales, ha realizado un valioso aporte para ser debatido y enriquecido en grupos de discusión más amplios. También ha aportado a la apropiación de su concepción por parte de la “mesa interinstitucional”, apropiación que se está constituyendo en una valiosa herramienta para el avance del Programa en una dirección acordada y compartida.

Aportes del Programa al desarrollo nacional

En la Argentina hay una amplia disponibilidad de capacidades, recursos y programas para encarar una adecuada gestión integral de la reducción del riesgo de desastres, pero al mismo tiempo hace falta seguir trabajando para mejorar la organización, la articulación y el aprovechamiento de los mismos.

El Programa de Acciones Intersectoriales, por medio de la metodología de trabajo escogida de planificación participativa y gestión asociada, está construyendo un escenario que permita articular necesidades con disponibilidades, logrando el aprovechamiento de las soluciones tecnológicas de las 6 instituciones que componen el Polo y de las demás organizaciones.

Este enfoque incide positivamente en dos direcciones, en primer lugar aportando respuestas a problemas identificados en tema de desastres y en segundo lugar promoviendo soluciones tecnológicas nacionales, que con frecuencia son más apropiadas para la realidad local que las importadas.

Con el desarrollo nacional a su vez se fortalece la resiliencia, que es hoy un factor fundamental para la RRD, según destaca el parámetro N° 1 “Modelo de desarrollo y reducción del riesgo con resiliencia” de la redacción de los parámetros básicos del nuevo paradigma, que elaboró el grupo de trabajo de Aspectos Institucionales:

“El nuevo paradigma requiere también que las organizaciones relacionadas con la atención de los desastres se vinculen entre sí, y que aquellos con capacidad de decisión en el modelo de desarrollo generen espacios o instancias específicas de participación de los distintos actores involucrados.”



“Así, mediante la relación entre aquellos que piensan y trabajan el modelo de desarrollo y aquellos que trabajan con los desastres se genera un modelo de reducción del riesgo de desastres.”

Aportes del Programa a la RRD

La mesa interinstitucional formalizada ha llegado a un punto de maduración como escenario participativo y sujeto colectivo, que le está permitiendo generar un compromiso de trabajo y un espacio de confianza, tendiente a superar las desarticulaciones existentes donde:

- Las estructuras institucionales verticales se articulen con las estructuras horizontales.
- La Nación, las Provincias y los Municipios trabajen articuladamente en las 3 etapas de la gestión integral de la reducción del riesgo, el antes, el durante y el después.
- La promoción y construcción de la resiliencia y de una efectiva participación de la comunidad sean un factor esencial y permanente.
- Las experiencias y saberes existentes sean un recurso potenciador de proyectos asociados.
- El conocimiento del territorio permita poner en contexto los avances científicos y tecnológicos disponibles.

Como conclusión podemos afirmar que la “mesa interinstitucional” se encuentra en condiciones de empezar a concretar propuestas y proyectos en esta 3ª etapa que comienza, en un todo de acuerdo con los postulados de Naciones Unidas de la Gestión Integral de la Reducción del Riesgo de Desastres. Ver Figura 2.

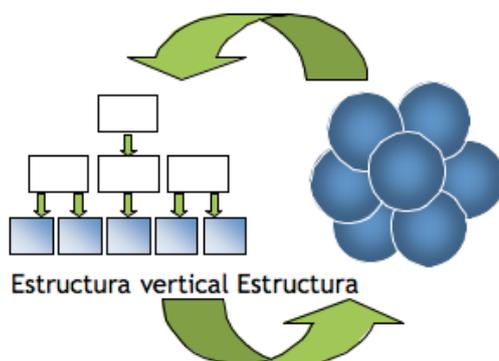


Figura 2

Se determina incorporar el Informe Final de la 2ª Etapa del Programa de Acciones Intersectoriales para la Reducción del Riesgo de Desastres al DOCUMENTO PAÍS de la República Argentina, trabajo que impulsa las Naciones Unidas a través de ONGs independientes de los estados como la Cruz Roja, donde se realiza un análisis global de los avances y programas que tienen los países en materia de RRD.



Además se considera que este Informe contribuirá en el futuro al Desarrollo de las Estrategias Financieras de la Gestión del Riesgo y al Abordaje Metodológico que permita desarrollar lineamientos para medir el Impacto Económico y Fiscal.



Estudio preliminar dendrocronológico en *Schinus odonelli* en Malargüe, Mendoza, Argentina

Castaño Gañán A.R.⁽¹⁾, F. A. Roig⁽²⁾, M.A. Hadad⁽²⁾

⁽¹⁾ *Internacional Center for Earth Sciences (ICES-CNEA, Regional Malargüe), E. Aldao y C. Rodríguez, CP 5613, Malargüe, Argentina. anaro95@hotmail.com*

⁽²⁾ *IANIGLA-CRICYT, Centro Científico Tecnológico CCT-Mendoza CONICET. froig@lab.cricyt.edu.ar*

RESUMEN

En zonas áridas es poca la información disponible sobre estudios dendrocronológicos de arbustos. En el sur de la provincia de Mendoza se encuentra distribuido el *Schinus odonellii*, nombre común “molle blanco”, su distribución es desde Río Negro hasta Mendoza. El objetivo del presente trabajo es evaluar el uso potencial dendrocronológico de *Schinus odonellii*, en la zona norte de su distribución natural. Se colectaron dos muestras de árboles vivos y seis de secos en la localidad del Chihuido a 30 Km al sur-oeste de la ciudad de Malargüe. Las muestras fueron secadas y lijadas con lijas de numeración ascendente. Se compararon las cronologías estandarizadas de ancho de anillos con los registros instrumentales del aeropuerto Malargüe (-35.48933 S; -69.57805W) entre el período (1973-2010). Esta es la primera cronología para el departamento de Malargüe y se espera que esta sea una especie promisoría para incursionar no sólo en la dendrocronología sino también en la dendroquímica.

Palabras clave: dendrocronología, *Schinus odonellii*, anillos de crecimiento

INTRODUCCIÓN

La dendrocronología es una herramienta de gran utilidad, para reconstruir, con resolución anual, las variaciones climáticas y los cambios ecológicos pasados. El uso de las técnicas dendrocronológicas en una región o área está determinada por la existencias de especies con anillos anuales visibles y un crecimiento radial influenciado por las variaciones climáticas (Fritts, 1976).

La región de los andes Argentinos posee un gran historial de estudios dendrocronológicos. Sin embargo Malargüe es un departamento extenso que no posee estudios dendrocronológicos, posiblemente debido a la escasa ó casi nula presencia de especies arbóreas nativas. Pero es una región árida con estacionalidad, el clima es continental y seco. Existen diferentes arbustos “promisorios” que pueden ofrecer información ecológica y ambiental valiosa.

Schinus odonellii F.A. Barkley, es un arbusto (-Perenne-), ubicado entre los 500 y 2600 msnm, Nativa de las provincias de Mendoza, Neuquén y Río Negro; también en Chile. Arbusto de 2-3 m de altura, con ramas espiniformes y braquiblastos manifiestos. (Villamil C.B y D. Testoni, 2012). El objetivo de este trabajo fue evaluar el potencial de esta especie para estudios dendrocronológicos.



Las muestras para este estudio fueron recolectadas en febrero de 2012 en la zona del Chihuido a 30 km al sur de la ciudad de Malargüe ($35^{\circ}45'04.6''S, 69^{\circ}37'07.7''W$), dentro de un relieve de cuestras, los arbustos crecen en suelo poco desarrollado en sustrato de calizas (Fig. 1). Se colectaron ocho muestras transversales, dos de individuos vivos y 6 de árboles muertos. Las muestras fueron pulidas con lijas de grano progresivamente más fino. Los anillos de crecimiento fueron datados al año de formación siguiendo la metodología descrita por Stokes & Smile (1968). Los anillos fueron medidos con una precisión de 0,001mm. La calidad del fechado fue controlada usando el programa COFECHA (Holmes 1983), Las series de ancho de anillos fueron estandarizadas, utilizando el programa ARSTAN (Cook 1985), para eliminar las tendencias biológicas propias del crecimiento y minimizar las variaciones en el crecimiento que no son comunes a todos los árboles (Fritts 1976).

Las variaciones en el ancho de anillos fueron comparadas con variables climáticas (Temperatura media, Temperatura máxima, Precipitación y velocidad máxima del viento). Los datos climáticos fueron obtenidos del aeródromo Malargüe, durante el periodo 1973-2010. La comparación entre anillos de crecimiento y variaciones climáticas se realizaron con función de correlación (Blasing et al. 1984). El periodo de comparación analizado comprendió 19 meses, desde octubre de la estación previa de crecimiento hasta abril del año en que se formaron los anillos.

Este método consiste en correlacionar las variaciones interanuales en el ancho de los anillos de crecimiento de una cronología con las fluctuaciones climáticas interanuales tomadas mes por mes. La relación estadística entre el ancho de anillos y la variable climática es examinada sobre el periodo común entre la cronología y los datos instrumentales. Debido a que el crecimiento en un año dado puede estar influenciado por las condiciones climáticas del año previo.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La cronología final obtenida cubre el período 1933 -2010 (Fig 2). La función de correlación mostró que el crecimiento radial de *S. odonellii* está controlado por las condiciones climáticas de verano (Fig. 3 y Fig. 4). El crecimiento se relaciona de manera significativa y positiva con la temperatura media de enero y abril del periodo previo al crecimiento (Fig. 3), esto puede deberse al carácter perenne de la especie. Las Temperaturas máximas (Fig. 3) correlacionan de manera negativa para todos los periodos. Se observaron correlaciones significativas con las condiciones climáticas de los meses previos a la estación de crecimiento.



De igual manera es de considerar el impacto positivo de la Velocidad Máxima del Viento (Fig. 4) en los meses de junio, pero para los meses de diciembre, marzo y abril las altas velocidades del viento impactan de forma negativa el crecimiento radial de *S. odonellii*.

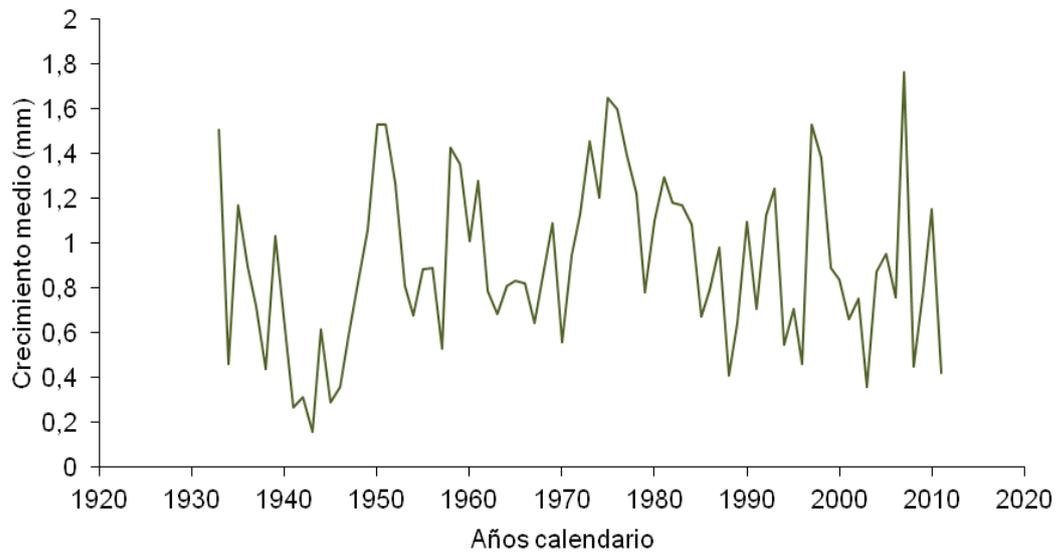


Figura 2. Índice de crecimiento estandarizado de los arbustos de *Schinus odonellii*.

Se podría interpretar que el factor que controla el crecimiento radial de *S. odonellii*, es la temperatura, pero hay que considerar que la humedad es el factor limitante, lo que numéricamente no se puede interpretar ya que la correlación fue negativa. *S. odonellii* no muestra sensibilidad a la precipitación de primavera, se puede interpretar que al menos en algunos años o momentos la humedad en el periodo de crecimiento debe actuar en el cambium, lo que también puede ser es que haya una respuesta tardía en el crecimiento en función de las precipitaciones anteriores.

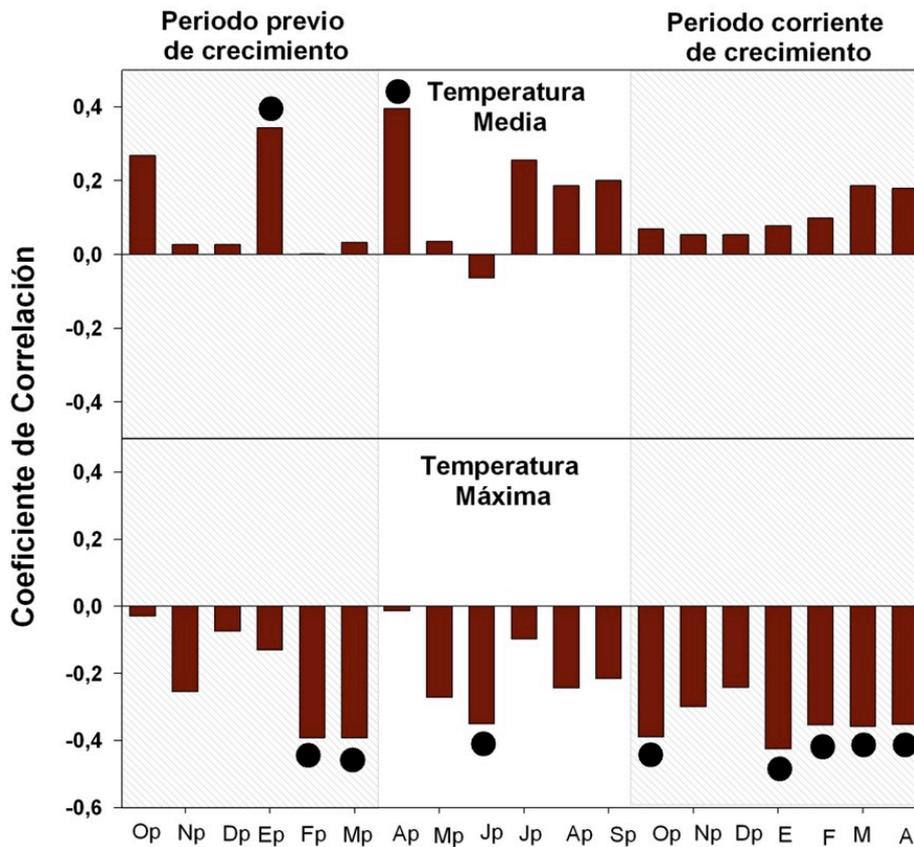


Figura 3. Coeficiente de correlación para las comparaciones entre las cronologías de ancho de anillos *S. odonellii* con a) Temperatura media y b) Temperatura máxima, para el periodo 1973-2010. Las áreas sombreadas indican las estaciones de crecimiento correspondientes a los periodos de crecimiento actual y anterior.

Llama la atención que una especie nativa, adaptada a las temperaturas extremas y bajas precipitaciones presente correlación negativa con la precipitación (Fig 4) en diciembre del período de crecimiento, y que las correlaciones no alcancen a ser significativas (febrero) tanto en el período de crecimiento como en el anterior.

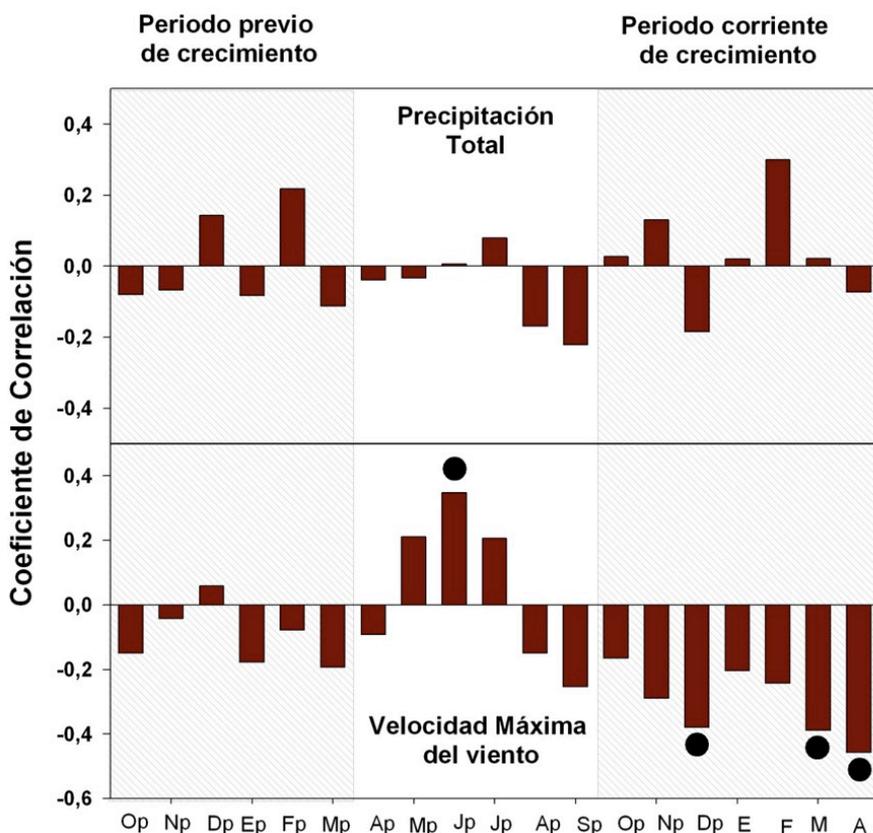


Figura 4. Coeficiente de correlación para las comparaciones entre las cronologías de ancho de anillos *S. odonellii* con Precipitación total y Velocidad máxima del viento, para el periodo 1973-2010. Las áreas sombreadas indican las estaciones de crecimiento correspondientes a los periodos de crecimiento actual y anterior.

Las temperaturas máximas durante la estación de crecimiento aumentan la evapotranspiración y reducen la disponibilidad de agua en el suelo, por lo que las correlaciones negativas son debidas a pérdidas de carbón asimilable y por ende de energía (Fitter & Hay, 2001). Esto prevee la vulnerabilidad de la especie a los eventuales aumentos de temperatura previstos por el IPCC (2007) para las zonas áridas.

CONCLUSIÓN

Estos resultados preliminares permitieron ver en los anillos de *S. odonellii* en Malargüe la posibilidad de realizar datación cruzada entre muestras de la misma especie lo que implica un potencial dendrocronológico y dendroclimático en la región. Es necesario ampliar el tamaño de muestra e incluir otras estaciones meteorológicas para reafirmar lo anterior y poder incursionar en la disciplina de la dendroquímica con esta especie.



BIBLIOGRAFÍA

- Blasing TJ, AM Solomon and DN Duvick (1984). Response function revisited. *Tree Ring Bulletin*, 44: 1-15.
- Fitter AH, Hay RH. 2001. *Environmental Physiology of Plants*. Academic Press: London.
- Fritts HC (1976) *Tree rings and climate*. Academic Press, London, United Kingdom. 567 pp.
- Holmes, R. 1983. Computer-assisted quality control in tree-ring dating and measurement. *Tree-Ring Bulletin* 43: 69-75.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). 2007. *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Solomon S, Qin D, Manning M, et al. (eds). Cambridge University Press: New York.
- Stokes, M.A., and T.L. Smiley, *An introduction to tree ring dating*, University of Chicago, Press, Chicago, 1968.
- Villamil, C. y D. Testoni (2012). *Schinus odonellii.*, Inventario florístico del Parque Nacional Laguna Blanca. Marzo 2012. 79pp.



Implicancia ambiental de los cambios hidrológicos inducidos por el hombre en el humedal de la Bahía de Samborombón, Argentina

Cellone Francisco⁽¹⁾ y Melo Marisol^(1,2)

⁽¹⁾ *Cátedra de Hidrología General de la Facultad de Ciencias Naturales y Museo (Universidad Nacional de La Plata), Calle 64 N° 3, La Plata, Argentina.*

⁽²⁾ *Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET)*
fcellone@yahoo.com.ar

RESUMEN

El humedal intermareal de la Bahía de Samborombón (Argentina) se desarrolla sobre una marisma que ha sufrido fuertes modificaciones como consecuencia de la actividad ganadera. El objetivo del trabajo es analizar los cambios hidrológicos inducidos por la acción antrópica en el humedal y evaluar como estos condicionan las características ambientales del medio físico. Se analizaron fotografías aéreas e imágenes satelitales y efectuaron relevamientos de campo reconociéndose las características geomorfológicas, hidrológicas y ambientales en sectores de marisma natural y alterada. En dichos sectores también se efectuaron mediciones de niveles, salinidad y temperatura del agua y se extrajeron muestras de sedimentos para la determinación del contenido de cloruros. Los resultados evidencian que la regulación de los flujos mareales en la marisma modifican las características ambientales. Dicha regulación se realiza mediante la construcción de obras hidráulicas de escasa envergadura (terraplenes, caminos) que no permiten el ingreso de la marea. En los sectores de marisma inundados periódicamente por el flujo mareal los sedimentos se encuentran mayormente saturados en agua aun en bajamar, el nivel freático aflora o está próximo a la superficie variando periódicamente con la marea, y el agua registra salinidades por encima de 25 mS/cm. En los sectores de marisma aislados del flujo mareal, los sedimentos en superficie tienen un bajo contenido de humedad presentando depósitos de sales cloruradas sódicas, especialmente en los periodos secos. En estos el agua presenta salinidades inferiores a 10 mS/cm. Estas modificaciones ocasionadas por la regulación de los flujos mareales de la marisma producen cambios ambientales que condicionan los ecosistemas del humedal intermareal. Un conocimiento adecuado de la influencia los cambios hidrológicos producidos por la actividad del hombre es la base para la preservación de los ecosistemas a partir de un manejo sustentable de los recursos hídricos.

INTRODUCCIÓN

Los humedales son ambientes hidrológicamente sensibles, razón por la cual cualquier acción que implique un cambio en el régimen hídrico alterará drásticamente sus características ecológicas [1]. Desde el punto de vista hidrológico son descriptos como zonas donde el nivel freático aflora o se encuentra muy próximo a la superficie, o donde la tierra está cubierta por



agua temporal o permanentemente [2]. Estos ambientes brindan bienes y servicios a los ecosistemas y a la sociedad, entre ellos: almacenaje y depuración de aguas, fijación de carbono en la vegetación y el suelo, oportunidades de caza y pesca, forraje natural para ganadería y amortiguación de inundaciones. No obstante, su importancia en el ambiente y en la sociedad no siempre es tenida en cuenta existiendo en el mundo, muchos humedales que han sido destruidos y están siendo degradados por actividades antropogénicas.

El sector sur de la bahía de Samborombón (Argentina) conforma un humedal intermareal designado sitio RAMSAR en 1997, en el que se sitúa la localidad de General Lavalle (Fig. 1). La hidrología del humedal está dada por la variación periódica de los niveles de aguas superficiales y subterráneas y flujos continentales y mareales que condiciona las características físico químicas del suelo y de los ambientes biológicos [3].

El objetivo del trabajo es analizar los cambios hidrológicos inducidos por la acción antrópica en dicho humedal y evaluar cómo estos condicionan las características ambientales del medio físico.

Área de estudio

El área de estudio se ubica en el sector sur de la Bahía de Samborombón, provincia de Buenos Aires, Argentina (Fig.1). El clima de la región es subhúmedo-húmedo, mesotermal, con poca o nula deficiencia de agua. La precipitación media anual es de 950mm (para el periodo 1887 y 2011) siendo el verano la estación más lluviosa; la temperatura media anual de la región es de 14,6 °C.

Desde el punto de vista geomorfológico forma parte de la planicie costera cuyos sedimentos fueron originados en los sucesivos desplazamientos de la línea de costa producto de las oscilaciones del nivel del mar durante el Pleistoceno y el Holoceno. La configuración actual es producto de la migración de una espiga arenosa ubicada hacia el este, la cual fue dejando sectores de marisma aislados del ciclo mareal y desplazando la línea de costa hacia el norte [4]. Dentro de dicha planicie se desarrolla en el sector costero sur de la bahía una extensa marisma que es un humedal intermareal que recibe periódicamente los flujos mareales provenientes del estuario exterior del Río de la Plata. Dicho estuario tiene un régimen micromareal semidiurno en donde el agua salina proveniente del mar penetra en forma de cuña por debajo del agua dulce del río [5]. En la planicie costera la onda de marea ingresa desde el estuario al continente por los numerosos canales de marea y principalmente por el Río Ajó. Las amplitudes observadas en el tramo medio del Río Ajó varían entre 0.50 y 2.50 m (Registros históricos de Prefectura Naval Argentina) con oscilaciones entre -1.20 y 1.30 m snm, registrándose en mareas extraordinarias o eventos de tormenta alturas de nivel que alcanzan 1.60 msnm [3].



La baja pendiente y la presencia de sedimentos poco permeables dan origen a una profusa red de canales vinculados a cursos de agua temporarios y permanentes. Los excedentes hídricos de la región son drenados hacia la bahía por el río el cual recibe aportes del Canal 2 y del Canal El Palenque (Fig. 1). En la planicie costera el acuífero freático tiene un nivel muy próximo a la superficie y la descarga regional es hacia la bahía, mientras que la local ocurre en los cursos y canales de marea de la marisma. Los suelos son pobremente drenados y/o sumergidos de tipo salino - alcalino siendo utilizados únicamente para la cría de ganado [6].

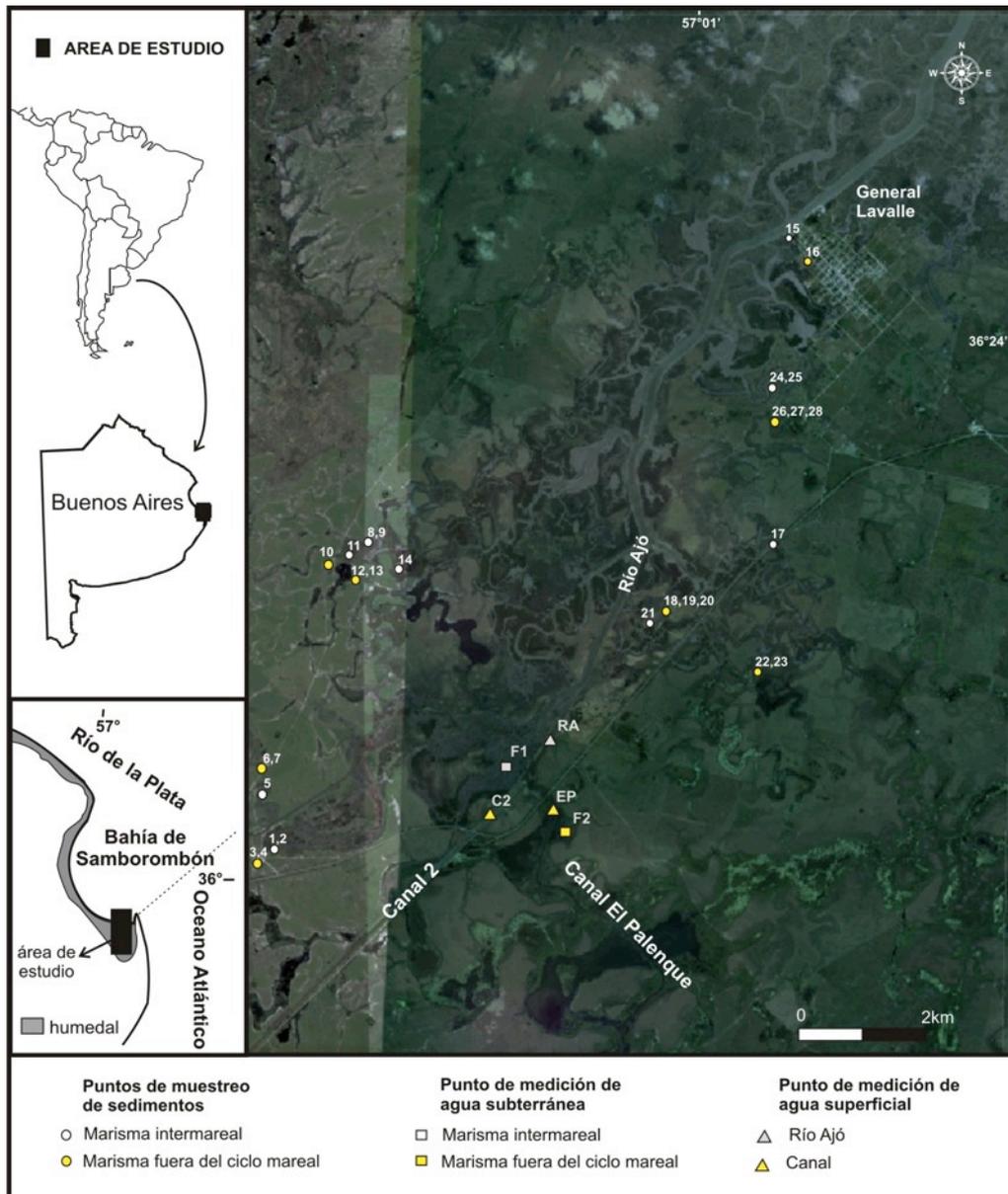


Figura 1: Ubicación del área de estudio y puntos de muestreo y medición.

METODOLOGÍA

Se realizaron interpretaciones de fotografías aéreas de 1985 a escala 1:20.000 e imágenes satelitales SPOT de 2010 con el fin de identificar áreas de marisma naturales y afectadas por la actividad antrópica.



Las fotografías e imágenes fueron geo-referenciadas generándose un mosaico del área de estudio. Ello permitió la digitalización de dichas áreas de marisma y el posterior cálculo de las áreas afectadas. Toda esta información fue integrada en el sistema de información geográfica (ArcGIS).

Posteriormente se efectuaron relevamientos de campo para verificar las interpretaciones de imágenes, evaluar las características ambientales de la marisma y extraer muestras de sedimentos. Estas fueron tomadas mediante un barreno manual a dos profundidades diferentes: 0-10cm y 40-50 cm. Además se extrajeron muestras superficiales en los sitios con presencia de precipitados salinos. El muestreo de sedimento fue realizado habiendo transcurrido tres días de un evento de marea extraordinario. Las muestras fueron enviadas al laboratorio donde se realizaron determinaciones de cloruros mediante la técnica EPA 9253.

La relación agua superficial - subterránea y su relación con los flujos mareales fue estudiada a partir de mediciones de niveles y conductividad eléctrica en el agua del Río Ajó (RA), canales que descargan al río (EP y C2) y en el acuífero freático (F1 y F2) localizado en la zona de marisma (Fig.1). Las mediciones hidrométricas y freaticométricas se realizaron utilizando sondas manuales (mediciones horarias) y sensores de registro continuo de niveles, temperatura y presión atmosférica de tipo Levelloggers y Barologgers modelo 3001 Solinst (mediciones cada 10 minutos). La conductividad eléctrica en el agua del río y canales y en el acuífero se determinó con una sonda manual de tipo TCL Modelo 107 Solinst cada 50 centímetros de profundidad de la columna de agua.

RESULTADOS

Comportamiento hidrológico en áreas intermareales

Los registros de niveles, conductividad eléctrica del agua y temperatura en el río Ajó y en el acuífero freático muestran que dichas variables están fuertemente condicionadas por las oscilaciones mareales en el estuario.

Cuando el nivel de pleamar en el estuario supera el nivel del río en cabeceras se registra una inversión del flujo y el agua del estuario ingresa en forma de cuña salina observándose un incremento y estratificación en la salinidad del agua del río. Los valores de conductividad eléctrica del agua registrados a 15 km de la línea de costa (Punto RA, Fig. 1) en los picos de pleamar y bajamar varían de 13,3 a 25,7 mS/cm en superficie y de 27,6 a 29,9 mS/cm en el fondo del cauce (Fig. 2).

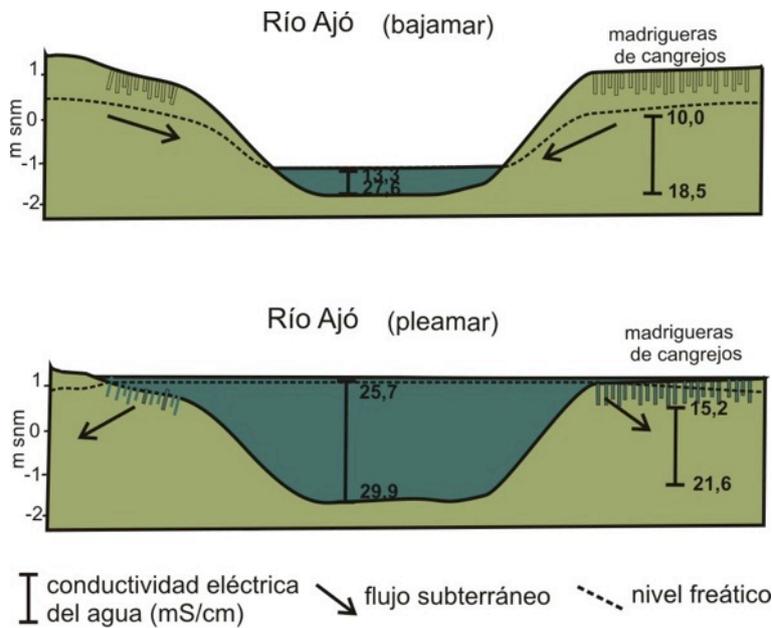


Figura 2: Esquema mostrando la relación agua superficial - subterránea y las variaciones en la conductividad eléctrica del agua para bajamar y pleamar cuando la marea sobrepasa el nivel de descarga subterránea.

En estas condiciones se registra un ascenso de los niveles freáticos el cual se debe a dos procesos. En una primera instancia el ascenso ocurre cuando los niveles superficiales igualan a los subterráneos y la descarga subterránea se ve impedida. El segundo proceso se da cuando la marisma se inunda produciendo el ingreso del agua del río hacia el acuífero. La oscilación del nivel freático ocurre en forma de picos asimétricos. Dicha asimetría se debe a que el agua que inunda la marisma en la pleamar ingresa rápidamente por las madrigueras de cangrejos y luego desciende lentamente cuando se produce la descarga hacia los canales por flujo subvertical a través de los sedimentos poco permeables. (Fig. 3) La salinidad en el acuífero freático exhibe un comportamiento similar al observado en el Río Ajó registrándose un aumento de la conductividad eléctrica del agua entre bajamar y pleamar que va de 10,0 a 15,2 mS/cm en superficie y de 18,5 a 21,6 mS/cm entre 0,5 m de profundidad (Fig. 2).

Los datos de temperatura en el acuífero freático permiten corroborar el comportamiento descrito. Cuando el ascenso de nivel se debe solo a que la descarga subterránea se ve impedida, el agua subterránea no registra incremento en la temperatura. Por ejemplo entre el 17/04/12 y el 18/04/12 existe un ascenso en los niveles del Río Ajó y el acuífero freático sin variación en la temperatura. (Fig. 3b). Cuando el nivel freático asciende por ingreso del agua del río, la temperatura en el acuífero aumenta debido a que el agua del río posee mayor temperatura que el agua subterránea. Por ejemplo entre el 24/04/12 y el 25/04/12 se observa un incremento de nivel en el Río Ajó y en el acuífero, con un aumento de la temperatura asociado (Fig. 3c).

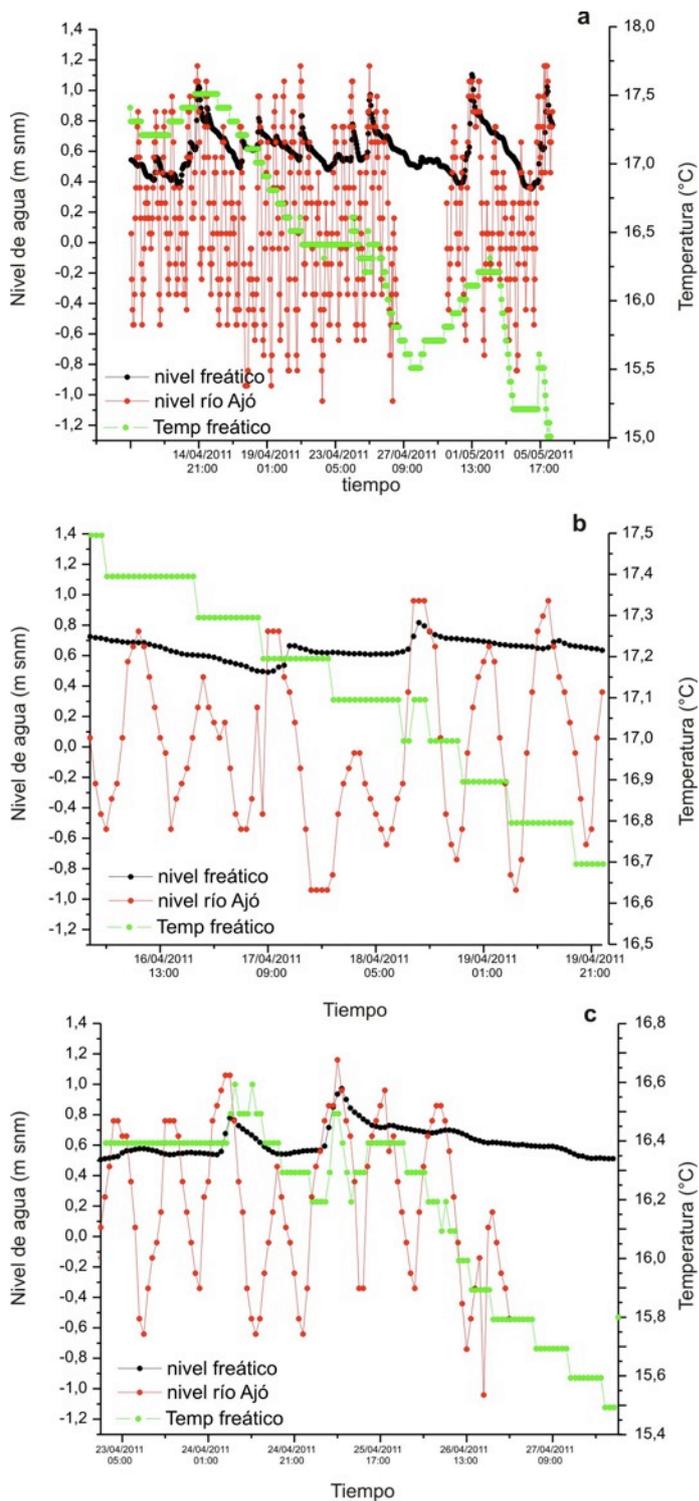


Figura 3: Registro de niveles de agua superficial y subterránea y temperatura del agua subterránea en un área de marisma intermareal (a) para el periodo 09/04/12 al 07/05/12; (b) detalle para el periodo comprendido entre el 16/04 al 19/04 de 2011; (c) detalle para el periodo comprendido entre el 23/04 y el 27/04 de 2011.

Cuando la pleamar no supera el nivel de descarga del río en cabeceras, el ascenso del nivel en la desembocadura del río impide su descarga. El agua del drenaje continental se acumula en dicho sector con el consecuente descenso en la salinidad del agua del río, registrándose valores de 23,6 a 16,1 mS/cm en superficie y de 26,5 a 16,6 mS/cm en el fondo del cauce entre bajamar y pleamar respectivamente para cada caso (Fig. 4). En estas condiciones, el



nivel freático no registra variaciones (Fig. 3) y la salinidad en el agua subterránea disminuye al igual que en el río con valores entre bajamar y pleamar que van de 20,2 a 16,3 mS/cm en superficie y de 26,0 a 17,0 mS/cm a 50 cm de profundidad. Dado que el agua del río no ingresa hacia el acuífero las salinidades tienden a igualarse por equilibrio químico. En estas condiciones la temperatura del agua subterránea varía en función de la temperatura ambiente, acompañando la tendencia a disminuir estacionalmente (de otoño a invierno).

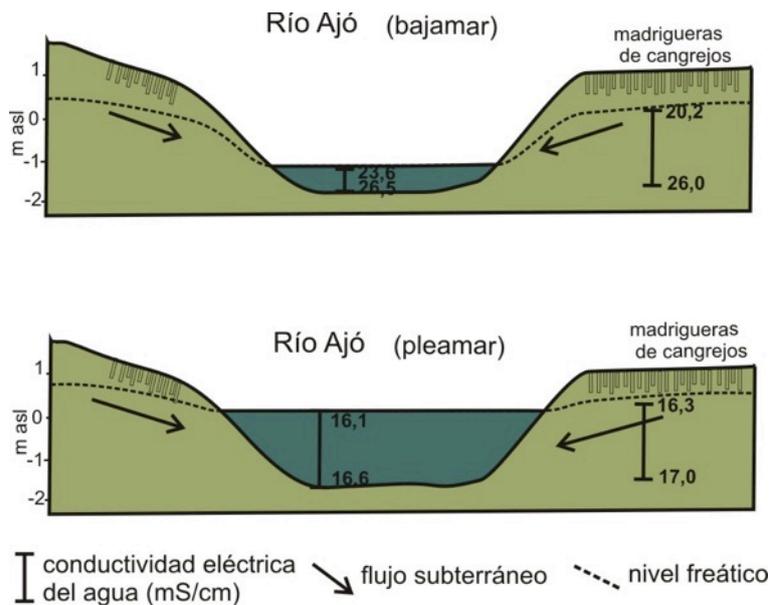


Figura 4: Esquema mostrando la relación agua superficial - subterránea y las variaciones en la conductividad eléctrica del agua para bajamar y pleamar, cuando la marea no sobrepasa el nivel de descarga subterránea.

En cuanto al contenido de cloruros (Tabla 1) de las áreas de marisma activa, este varía entre 1985 y 6300 mg/kg presentando valores similares en superficie y en profundidad. A su vez los valores disminuyen hacia los sectores más próximos al estuario (muestras 15, 17, 24 y 25). La vegetación asociada a estos sectores tiene como especies representativas al espartillo (*Spartina alterniflora*, *Spartina densiflora*), el Jume (*Salicornia ambigua*), hunquillares (*Juncus acutus*) y espadañas (*Zizaniopsis bonariensis*).

Comportamiento hidrológico en áreas fuera del ciclo mareal

Parte de la marisma se encuentra actualmente modificada por la acción antrópica a través de canales, terraplenes y caminos internos. Los canales regulan los flujos mareales mediante compuertas y los terraplenes cortan los canales de marea con el objetivo de impedir el flujo mareal y ampliar el área de pastoreo. Por su parte los caminos internos poseen drenes deficientes que también alteran el flujo de agua en la marisma (Fig. 5).



El cálculo de las áreas de marisma actualmente aisladas del ciclo mareal por las obras de ingeniería mencionadas anteriormente, arrojó que estas representan 4130 has. De las cuales un 59% (2438 has) son áreas afectadas antes de 1985.

Las mediciones de niveles, salinidad y temperatura en un sector de la marisma afectada por la canalización y compuerta del canal El Palenque muestra que la relación agua superficial - subterránea no varía con el flujo mareal y la salinidad en ambas es homogénea en toda la columna de agua con valores de 11,1 mS/cm en el agua superficial y 11,8 mS/cm en el agua subterránea (Fig. 6 y 7).



Figura 5: fotografía donde se observa en la parte central un terraplén que deja un sector de la marisma (izquierda de la fotografía) fuera del ciclo mareal.

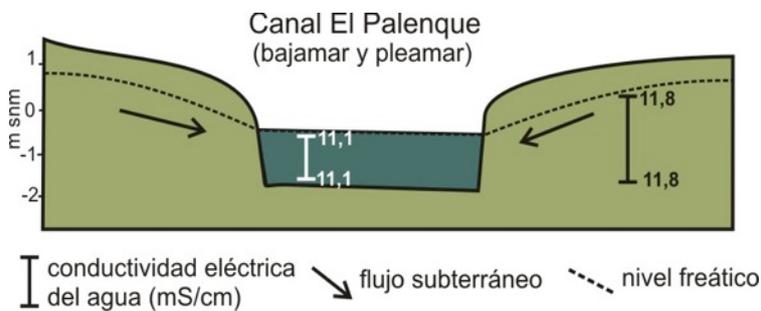


Figura 6: Esquema mostrando la relación agua superficial - subterránea y la conductividad eléctrica del agua para bajamar y pleamar en un área de marisma fuera del ciclo mareal.

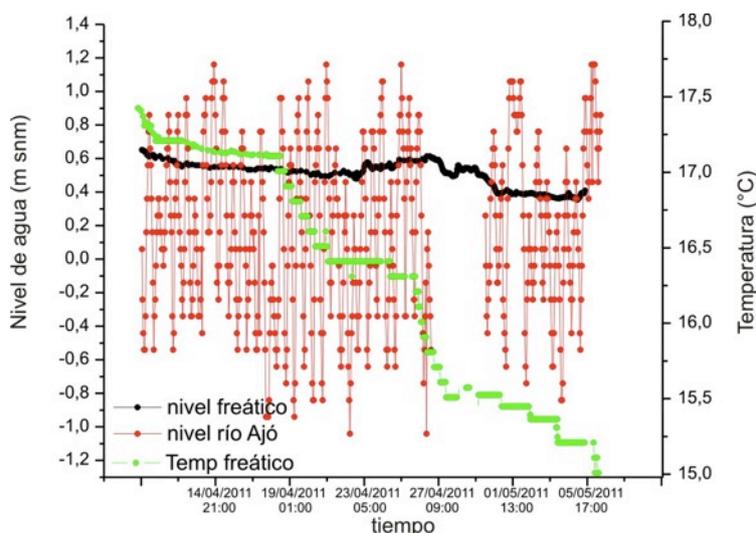


Figura 7: Registro de niveles de agua superficial y subterránea y temperatura del agua subterránea en un área de marisma fuera del ciclo mareal para el periodo 09/04/12 al 07/05/12.

En estas áreas fuera del ciclo mareal el contenido de cloruros de los sedimentos (Tabla 1) es muy variable (entre 1252 y 15775 mg/kg), condicionado por diversos factores. Las concentraciones más bajas se registran en lugares no afectados por las mareas extraordinarias (muestra 16) o donde, si bien son afectadas por estas, el agua acumulada durante estos eventos es drenada mediante desagües y compuertas en caminos y terraplenes (muestras 10,12,13 y 22). Las lluvias diluyen las sales y el agua acumulada posee una conductividad eléctrica inferior a 5 mS/cm. La vegetación asociada está representada por juncales (*Schoenoplectus californianus*) y hunquillares (*Juncus acutus*).

Por otro lado las mayores concentraciones de cloruro (muestras 3, 18 y 26) corresponden a precipitados salinos. Estos se dan en sectores de la marisma afectada donde el agua que ingresa luego de un evento de pleamar extraordinario no puede drenar, lo que conduce a que parte se infiltre y parte se evapore generando los precipitados de halita. Los valores en profundidad son similares o inferiores a los de la marisma activa (muestras 4, 19, 20, 27, 28) En relación con este ambiente se desarrollan las siguientes especies vegetales: pasto salado o pelo de chanco (*Distichlis spicata*), duraznillo blanco (*Solanum glaucophyllum*) y el duraznillo negro (*Cestrum parquii*).



Marisma intermareal				Marisma fuera del ciclo mareal			
muestra 0-10 cm	cloruros (mg/kg)	muestra 40-50 cm	cloruros (mg/kg)	muestra 0-10 cm	cloruros (mg/kg)	muestra 40-50 cm	cloruros (mg/kg)
01	4970	02	4986	03 (prec)	12530	04	4980
05	6280	09	6250	06	3962	07	3960
08	6260	25	2520	10	1578	13	1578
11	6300			12	1252	20	3150
14	3950			16	1255	28	5568
15	2500			18 (prec)	15775		
17	3148			19	3950		
21	4988			22	4985		
24	1985			26 (prec)	7905		
				27	4985		

Tabla 1: Contenido de cloruros en sedimentos de la marisma Donde (prec): muestras superficiales con precipitados salinos, (0-10 cm) muestras entre 0 y 10 cm de profundidad y (40-50 cm): muestras extraídas entre 40 y 50 cm de profundidad. La ubicación de los puntos de muestreo se indica en la figura 1.

CONCLUSIONES

Las características hidrológicas y el contenido salino en aguas y sedimentos de la marisma son modificadas por obras de pequeña envergadura (canalizaciones, compuertas, terraplenes y caminos internos).

En condiciones naturales los niveles y la salinidad del agua superficial y subterránea de la marisma están condicionados por las oscilaciones mareales en el estuario. Durante la pleamar pueden ocurrir dos situaciones. Por un lado, si el nivel de la pleamar supera al de descarga del río, se registra un aumento de la salinidad y de los niveles por ingreso del agua del estuario en forma de cuña. Por el otro, si el nivel de la pleamar no supera al de descarga, se da un aumento en el nivel pero una disminución en la salinidad del agua debido a que la descarga se ve impedida, acumulándose el agua menos salina procedente del drenaje continental.

Cuando la marisma es inundada por la pleamar, el ingreso del agua hacia el acuífero freático se produce a través de los macroporos representados por las madrigueras de los cangrejos. El ingreso del agua superficial con mayor temperatura produce una variación en la subterránea durante la pleamar que se aparta de la tendencia estacional que muestra la temperatura. La descarga hacia los canales de marea se produce por flujo subhorizontal a través de sedimentos de baja permeabilidad. No obstante, existen situaciones en que el nivel freático puede presentar un ascenso durante la pleamar por el impedimento de la descarga y sin ingreso de agua proveniente del río. Este proceso se evidencia por la estabilidad en la temperatura del agua en el acuífero freático. En todos los casos el agua superficial y subterránea registra estratificación salina.



El contenido de cloruros en los sedimentos de la marisma activa no muestra grandes variaciones. Estas zonas son habitadas por abundantes cangrejales y vegetación dependiente de los flujos mareales.

La realización de canales, terraplenes y caminos modifica la hidrodinámica superficial y condiciona el contenido de cloruros en sedimentos y la distribución de vegetación y cangrejales dentro de la marisma. En los sectores aislados del flujo marea por dichas obras no se registran variaciones periódicas en la relación agua superficial/subterránea y la salinidad del agua no se ve estratificada.

Cuando ocurren pleamares extraordinarias, el agua puede inundar la marisma. En aquellos lugares con drenaje deficiente o carentes del mismo, se generan precipitados de sales cloruradas sódicas en la superficie de los sedimentos. En zonas donde el drenaje es eficiente o donde la marea extraordinaria no alcanza a inundar se produce una disminución del contenido de cloruros en los sedimentos por el lavado de las lluvias. En estas áreas fuera del ciclo marea no se desarrollan poblaciones de cangrejos y las especies vegetales son distintas a las presentes en la marisma natural.

Los resultados obtenidos permiten definir en detalle el comportamiento hidrodinámico e hidroquímico y las variaciones de salinidad a que están sometidos los ambientes intermareales. Estos resultados constituyen una herramienta para la gestión y preservación de los ecosistemas y para el manejo sustentable de los recursos hídricos frente al desarrollo socioeconómico de la región.

REFERENCIAS

- [1] Iggy Litaor, M., Eshel, G., Sade, R., Rimmer, A., Shenker, M., 2008. Hydrogeological characterization of an altered wetland. *Journal of Hydrology* 349, 333- 349.
- [2] Custodio E., 2010. Aguas subterráneas y humedales en zonas llanas. I Congreso Internacional de Hidrología de Llanuras, 39 - 49.
- [3] 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.
- [4] Violante R, Parker G, Cavallotto, 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 Geológica Argentina* 56(1):51-66
- [5] Acha M., Mianzan H., Guerrero R., Carreto J., Giberto D., Montoya N., Carignan M., 2008. An overview of physical and ecological processes in the Rio de la Plata Estuary. *Continental Shelf Research* 28, 1579- 1588.
- [6] Carol, E., Kruse, E., Pousa, J., 2008. Environmental hydrogeology of the southern sector of the Samborombón bay wetland, Argentina. *Environmental Geology* 54: 95-102.



Identificación de parámetros geológicos para la zonificación de eventos aluvionales en Mendoza *

H.Cisneros^{1, 2,3}, M.N.Ahumada¹, T.Arce¹, E. Castañón¹, L.Peñas¹, S. Mailhos⁴, J. Delamarre², Berardini M.2 y J. Torres⁵

1. *Universidad Juan A. Maza, Mendoza, Argentina*
2. *Departamento de Geología, Universidad Nacional de San Luis*
3. *Departamento de Geografía, Universidad Nacional de Cuyo*
4. *Universidad de Congreso, Mendoza, Argentina*
5. *Instituto Argentino de Energía regional Cuyo*

cisneros@unsl.edu.ar

RESUMEN

El centro oeste argentino se caracteriza por ser una zona con alto riesgo aluvional, potenciado en la zona metropolitana de Mendoza por la alta concentración urbana existente y por la presencia de eventos destructivos históricos que marcaron la historia de esta provincia y cambiaron radicalmente su constitución y concepción urbanística y social. Esto fundamenta la necesidad de tener en cuenta el hecho en las actividades humanas y en la planificación de la prevención de sus efectos en el Gran Mendoza.

Si bien es cierto que los procesos hídricos destructivos acompañan al hombre desde sus albores, el advenimiento de la expansión urbana en todo el mundo con el incremento demográfico de la población como así también el éxodo del campo a las ciudades son elementos sociales que han incrementado las consecuencias de estos fenómenos. Se vincula de éste modo, el ordenamiento territorial y la planificación a la reducción del riesgo aluvional.

Se pretende con esta contribución realizar un avance en la prevención de los efectos negativos que un proceso de flujo de alta densidad de consideración podría generar en el gran Mendoza, más exactamente en la zona de Godoy Cruz, al suroeste de la ciudad capital de Mendoza. Se presenta cartografía SIG tendiente a la identificación, jerarquización y planificación medioambiental, y un plan de mitigación ante estos fenómenos.

Palabras Clave: Historia Ambiental - historia climática - Riesgos naturales. Peligros geológicos. Mendoza. Piedemonte. Gestión ambiental.

Este trabajo participa en el "concurso para jóvenes investigadores".



INTRODUCCIÓN

En la presente contribución se pretendió abordar la problemática del desorden territorial en el Piedemonte mendocino ubicado al oeste de la ciudad de Mendoza.

La densidad poblacional, la pobreza, la falta de políticas que aborden con seriedad el tema urbanístico, los riesgos de tipo naturales, sobre todo los de origen pluvial, y el deterioro ambiental en que se encuentran los barrios marginales, evidencian que existe una problemática y que debe ser abordada para encauzarla hacia un mejoramiento de las actuales condiciones.

Durante su desarrollo se relevaron las condiciones físicas, sociales y ambientales determinando la vulnerabilidad del sector frente a riesgos geológico-hidrológicos. Se aborda el tema de fenómenos naturales comenzando con una caracterización de los procesos de remoción en masa conocidos como Inundación de detritos (debris flood). Además, se detalla las características de los procesos aluvionales comparando la situación existente en la zona con antecedentes de otros lugares de Argentina y el mundo.

Avanzando en el desarrollo se hace necesario profundizar el análisis exclusivo de la cuenca Maure y la determinación de sus zonas de riesgo. Finalmente se presentan propuestas de ordenamiento ambiental que, en la medida de lo posible, contribuirán a la reducción de la vulnerabilidad de esta importante zona del Piedemonte mendocino.

Marco físico general

El Gran Mendoza, ubicado en lo que se conoce como Oasis Mendocino, es un conglomerado urbano que contiene a las localidades de Capital, Las Heras, Guaymallén, Godoy Cruz, Maipú y Luján. El área de estudio comprende a la unidad del Piedemonte precordillerano de la ciudad de Mendoza y está localizado en las coordenadas Geográficas W69°00'-W68°50' y S32°48''-S32°54'.

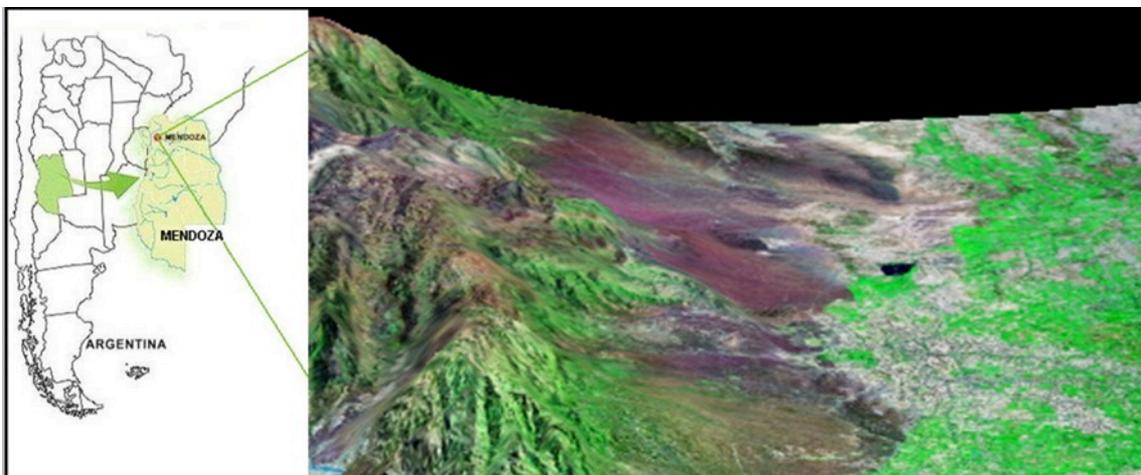


Figura 1: esquema general de ubicación del área de estudio (sin escala)

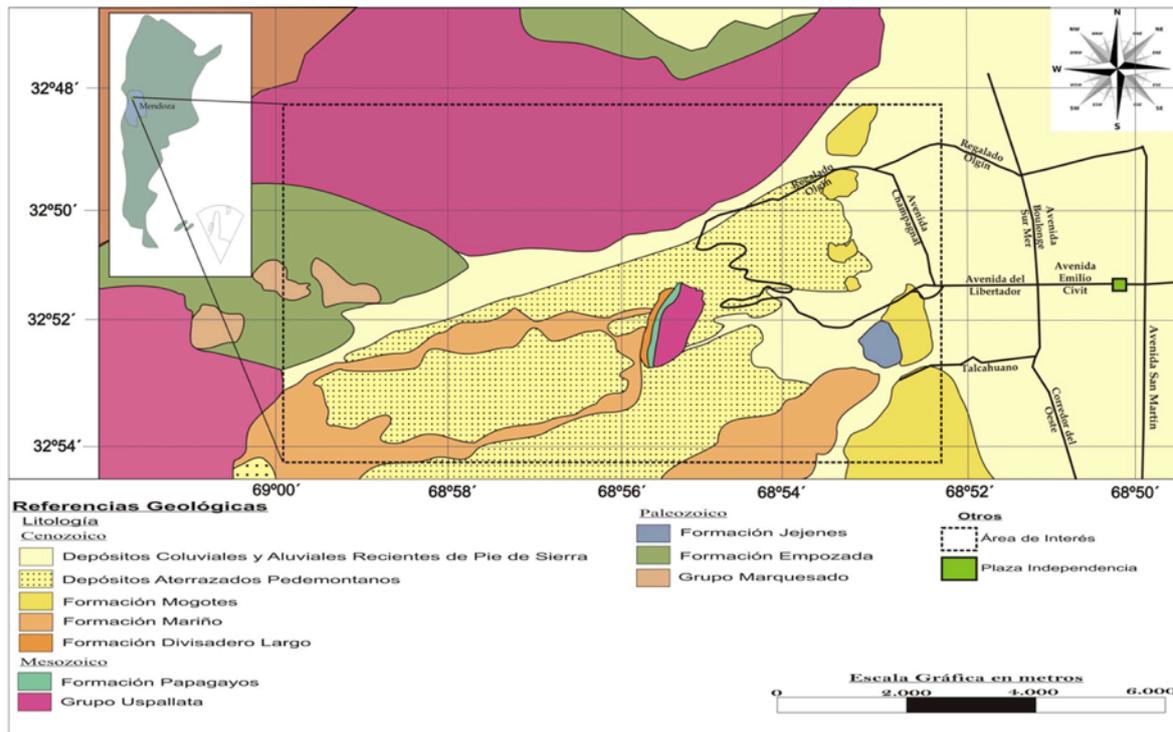


Figura 2: ubicación y geología del área de análisis (realizó Delamarre)

Características climáticas locales

Para el análisis climático del piedemonte precordillerano del norte de Mendoza se utilizan los aspectos climatológicos como también los fenómenos meteorológicos más destacables (temperatura, amplitud térmica, precipitaciones, tormentas, granizo, viento zonda). La información se obtuvo de las estadísticas meteorológicas elaboradas por el Servicio Meteorológico Nacional, utilizando las estaciones “Mendoza Aeropuerto” y “Mendoza Observatorio”.

Temperatura: temperatura máxima absoluta = 44.4°C (estación “Mendoza Aero”, 30 de enero de 2003); temperatura máxima media = supera los 30°C en el periodo diciembre y enero; temperatura media = inferior a 25°C (con excepción del periodo diciembre y enero); temperatura mínima media = 2°C (durante los meses invernales); temperatura mínima absoluta = no inferior a -10°C .

Amplitud térmica: los mayores valores anuales son, para la estación Mendoza Aero de 40.8°C y para Mendoza Observatorio de 39.1°C ; mientras que los menores valores anuales se encuentran por encima de los 27°C en Mendoza Observatorio y de 28°C en Mendoza Aero.

Precipitaciones: presentan un máximo en los meses de verano, lo cual está relacionado con el régimen de precipitaciones de tipo estival que responde a las tormentas originadas en nubes convectivas. Las precipitaciones medias anuales son de 236 mm.



Tormentas y granizo: constituyen un tipo de fenómeno meteorológico de mesoescala considerado como “severo. Estos se deben a la formación de nubes de gran desarrollo vertical y nubes convectivas que adquieren características particulares producto de la ubicación geográfica de la zona en estudio (a sotavento de la Cordillera y Precordillera de los Andes). El periodo de mayor frecuencia de ocurrencia de tormentas es el comprendido entre los meses de octubre a marzo.[1]

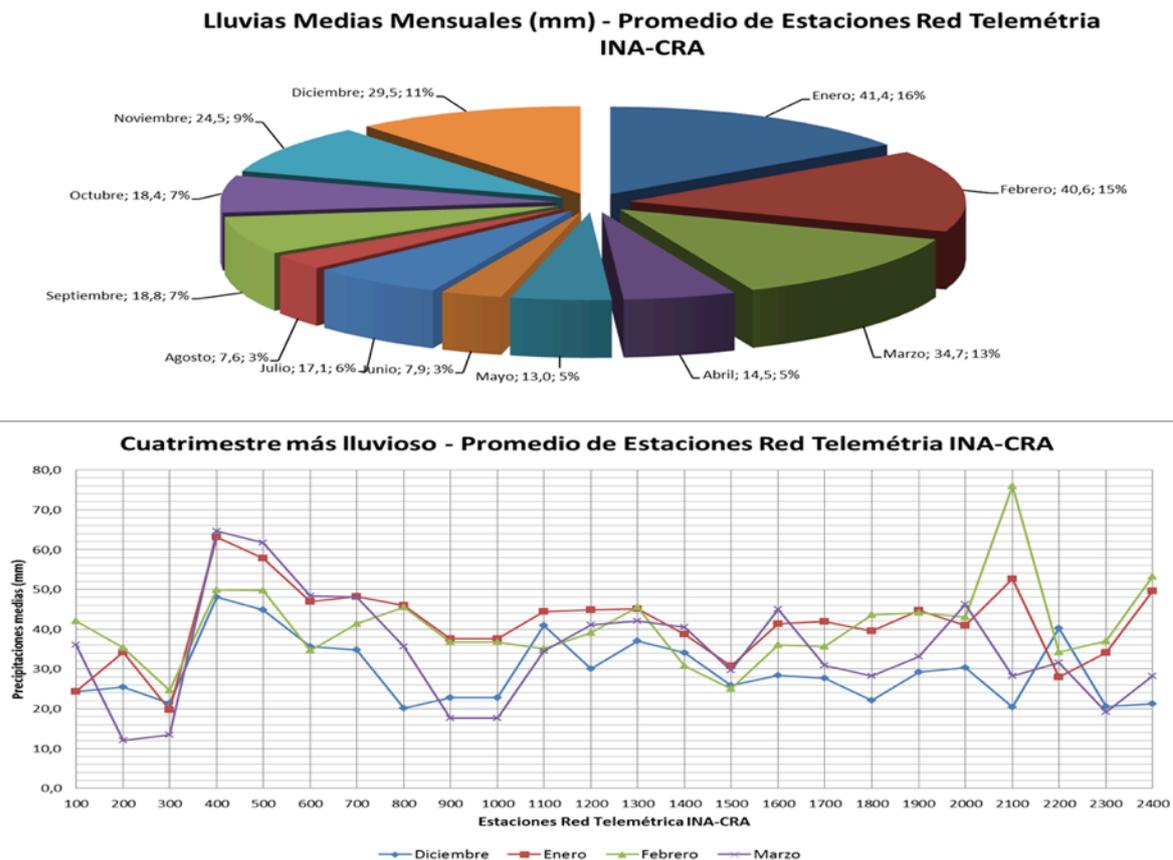


Figura 3: gráfico de lluvias locales (realizó Peñas)

Vegetación

El piedemonte mendocino es el área comprendida entre la llanura mendocina y la cordillera de Los Andes, y en ella se encuentra vegetación típica de climas seco-desérticos con temperaturas medias del mes más cálido iguales o mayores a 22 °C e inviernos secos con pocas precipitaciones. Se encuentra ubicado en la Provincia Fitogeográfica Andina y la vegetación se halla aproximadamente entre los 2000 m.s.n.m. y los 4000 m.s.n.m., siendo las principales representantes las comunidades de *Larrea divaricata*, *L. cuneifolia*, *Artemisia mendocina* y *Zuccagnia punctata*, *Eupatorium buniifolium*, *Proustia cuneifolia*, *Cortaderia rudiusscula* y *Argemone subfusiformis*.

Estas especies son susceptibles al arrastre por corrientes hídricas lo que permite que se extiendan y proliferen, tienen la capacidad de formar matorrales en lugares donde se produce remoción de suelos y algunas pueden enraizarse algunos metros permitiendo que la



retención de suelo sea muy efectiva. Para los trabajos de revegetación que se propondrán para las tareas de remediación, se contempla principalmente el uso de especies autóctonas. [2]

Características poblacionales

En principio es importante tener en cuenta que las principales cuencas hidrográficas se encuentran en las cercanías de la aglomeración urbana de Mendoza. La ciudad de Mendoza fue planificada luego de la destrucción provocada por el terremoto de 1861, pero luego del sismo de 1985 se produjo un gran avance poblacional hacia el piedemonte mendocino lo cual cambió la morfología de la zona [3]. A partir de estos grandes cambios la población comenzó a migrar hacia lugares como el piedemonte, al oeste de la provincia, sin tener mayores conocimientos de los riesgos que allí se encuentran latentes, ya que en esta zona existe gran fragilidad natural debido a fallas sísmicas y pendientes pronunciadas que en conjunto con los cauces hídricos pueden provocar importantes aluviones y riesgos de erosión entre otros. Además de esta gran expansión, paralelamente la población optó por migrar a zonas de cultivos, llamados “oasis”, que perjudican directamente la actividad agrícola.

Finalmente, la falta de planificación urbana trajo aparejado con ello este tipo de movilizaciones poblacionales, donde es importante resaltar villas o asentamientos que se encuentran hoy en día instalados en zonas de gran vulnerabilidad.

Marco geológico

La zona de estudio se encuentra en la zona sureste de la provincia geológica de Precordillera, más precisamente en la vertiente oriental o piedemonte de la Precordillera de Mendoza. Las unidades reconocidas por Sepúlveda [4] comprenden desde edades ordovícicas (zona de San Isidro) a cuaternarias. Las unidades mesozoicas se hallan principalmente en el área de Divisadero Largo y Papagayos, y las correspondientes al Neógeno en los cerros de la Gloria, Bordalesa y Petaca entre otros. Las unidades cuaternarias se encuentran expuestas como depósitos aterrazados y sedimentos que forman las bajadas y aluviones recientes del piedemonte.

<i>Era</i>	<i>Periodo/Época</i>		<i>Formación</i>	<i>Características</i>
Cenozoico	Holoceno		Depósitos coluviales y aluviales recientes	Depósitos de pie de sierra y bajadas actuales integrados por conos aluviales modernos que forman una planicie aluvial inclinada hacia el este.
	Neógeno	Pleistoceno superior	Las Tunas	Asignada con dudas a la Formación Aeródromo. Se trata de fanglomerados, gravas, arenas y limos escasamente consolidados.
		Pleistoceno superior	La Invernada	Constituye el segundo nivel pedemontano y aflora entre la cerrillada Bordalesa, de la Gloria y Petaca y el frente de la Precordillera.
		Pleistoceno inferior	Los Mesones	Depósitos aterrazados pedemontanos gruesos (fanglomerados de origen aluvional).



		Plioceno superior	Mogotes	Esta formación está formada por rocas sedimentarias de ambiente continental, y aflora en la cerrillada de La Bodega, Del Cañaverl, Angostura, La Ramadita, de la Gloria, Puntilla, Pelota y Petaca.
		Mioceno	Volcanitas Cerro Melocotón	Aflora en los sectores elevados del cerro Melocotón. Son rocas andesíticas que por dataciones radiométricas han sido asignadas a un evento magmático mioceno.
		Mioceno inferior	Mariño	Se trata de rocas sedimentarias clásticas y tobáceas aflorantes desde Divisadero Largo hacia el oeste y desde el flanco oeste de la cerrillada de la Gloria, Puntilla, Pelota y Petaca.
	Paleógeno	Oligoceno inferior	Divisadero Largo	Se hallan principalmente en la zona oriental del piedemonte mendocino. Se trata de rocas de ambiente continental interpretado como de sabhka continental.
Mesozoico		Cretácico	Papagayos	Está formada por rocas sedimentarias clásticas (conglomerados, areniscas y limolitas) y aflora principalmente en los arroyos Divisadero Largo y Papagayos.
		Triásico	Grupo Uspallata	Esta unidad se encuentra cubierta por Fm. Papagayos en la zona de Divisadero Largo, y también se halla aflorante hacia el sur del río San Isidro. Está integrada por rocas sedimentarias y piroclásticas.
Paleozoico		Carbonífero	Santa Máxima	Se halla al noroeste de la zona de estudio y está representada por rocas sedimentarias y piroclásticas.
		Devónico	Grupo Villavicencio	Se trata de rocas sedimentarias de ambiente marino y continental aflorantes en el flanco oriental de Precordillera. En contacto tectónico por falla con Fm Empozada en el área de San Isidro.
		Ordovícico	Empozada	Son rocas sedimentarias de ambiente de talud y cuenca profunda. Se encuentra aflorante en el área de la quebrada de San Isidro.

Figura 4: estratigrafía del sector pedemontano precordillerano de Mendoza (modificado de [4])



Estructura

La región estudiada constituye una faja plegada y corrida, con múltiples orogenias de doble vergencia, se ha dividido en tres sectores con características estructurales y tectono-estratigráficas distintas [5]; los sectores oriental y occidental de la Precordillera y el borde oriental del Cordón del Plata. La falla Villavicencio representa el límite entre los sectores oriental y occidental de la Precordillera.

En el sector al occidente del piedemonte, la cuchilla del cerro Pelado se encuentra levantada por la falla Villavicencio, que es la estructura más importante de este sector especificado anteriormente, con un rumbo NNE e inclinación con alto ángulo hacia el ESE. Esta estructura separa dos áreas con diferente paleogeografía y evolución estructural. La geología del Paleozoico temprano al oeste de dicha falla involucra a las rocas metamórficas del Grupo Bonilla y de la Formación Puntilla de Uspallata, mientras que al este, afloran metasedimentitas clásticas y carbonáticas pertenecientes a las Formaciones Cerro Pelado, Empozada y Villavicencio, con edades similares.

En lo que respecta a las deformaciones cuaternarias, las estructuras del sector se presentan a lo largo de tres fajas paralelas al frente de levantamiento precordillerano. La faja más distal corresponde a la falla Cerro La Cal y los anticlinales Borbollón y Capdeville, la faja intermedia a las fallas del Cerro de La Gloria y Divisadero Largo y la faja más próxima al frente a la falla Melocotón. Esta última se expresa como una escarpa de falla en materiales holocenos, con ladera al este y unos 15 Km de largo [6]. El estudio mediante trincheras revela que es una falla de bajo ángulo y con separación inversa en la que el sustrato rocoso se desplazó 2,60 metros sobre limos eólicos no consolidados con restos de gasterópodos, datados en 38.000 años [7]

En el flanco oriental del Cerro de La Gloria se reconocen fallas con vergencia oeste [8]. Según INPRES [7], son dos fallas inversas de unos 15 Km de largo, subparalelas, de rumbo norte-sur a nornordeste y buzamiento de alto ángulo al este (Fallas del Cerro de La Gloria-Cerro del Cristo). Milana y Zambrano [9] calcularon para la falla oriental un rechazo vertical de aproximadamente 17 metros. En trincheras realizadas por el INPRES midieron en la superficie de la falla occidental 60 cm de desplazamiento de ese mismo glacis. Estos autores identificaron depósitos de barreal al pie occidental del cordón de la Gloria debidos al endicamiento de corrientes pedemontanas producidas por el ascenso del bloque del techo. Inmediatamente al oeste, en el arroyo Divisadero Largo, otra falla longitudinal pone en contacto rocas triásicas y sedimentos cuaternarios [8]. Asimismo hacia el sur-suroeste, Bastías *et al.* [10] indicaron otra falla cuaternaria extensa en el sector pedemontano (Falla Punta de Agua).

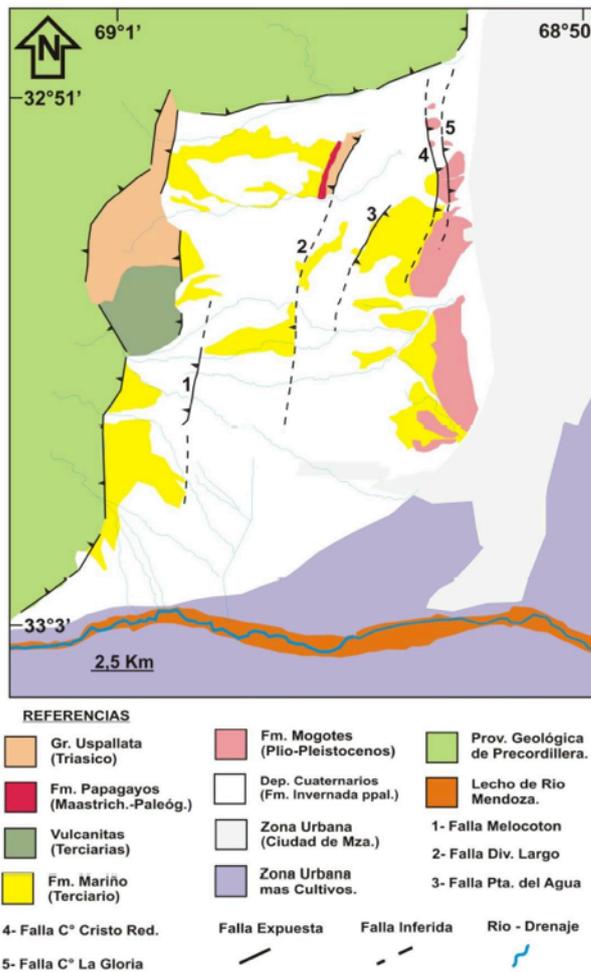


Figura 5: Mapa con estructuras cuaternarias comprobadas (realizó Berardini)

Suelos

De acuerdo al mapa de Clasificación Taxonómica de Suelos de la provincia de Mendoza [11] realizado con datos del I.N.T.A. del año 1990, y según el sistema del Soil Taxonomy de Soil Survey Staff, 1975; en el área de trabajo se desarrollan suelos de los órdenes Entisoles (suelos de escaso desarrollo) y Aridisoles (suelos de climas áridos).

Principalmente en la zona pedemontana del oeste de la ciudad de Mendoza se hallan Torrifluventes típicos, Torriortentes típicos y Paleórtides típicos.

Los Torrifluventes son aquellos Entisoles desarrollados sobre sedimentos recientes depositados por ríos; los Torriortentes se encuentran en zonas áridas, frías o cálidas con régimen de humedad tórrico, y están sobre pendientes moderadas a fuertes. Los Paleórtides son Aridisoles con un horizonte o capa fuertemente cementada constituida predominantemente por carbonato de calcio.

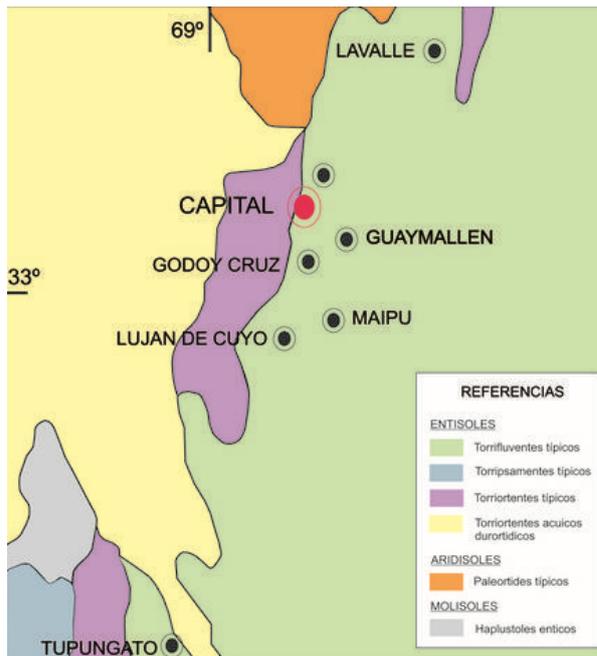


Figura 5: mapa de Suelos (modificado de Regairaz [11])

Los edafoclimas o “climas del suelo” del área de trabajo son principalmente aquellos desarrollados bajo regímenes de humedad arídico (con un marcado déficit de humedad en el suelo durante la mayor parte del año), y ústico (con un déficit moderado y las precipitaciones son monzónicas). Este último ha sido identificado principalmente en el sector apical y medio del piedemonte de la provincia geológica de Precordillera.

Planeamiento del problema

El área de estudio se ubica entre el sector Sur del departamento de Las Heras y al Norte del departamento de Luján de Cuyo de la provincia de Mendoza. Se encuentra delimitada al Oeste por la divisoria de aguas de la Precordillera, al Este por el cauce del río Mendoza, al Sur el límite de la Precordillera y al Norte la cuenca del arroyo La Crucecita. Es un sector de dominio natural, presenta modelado montañoso con alturas máximas de 3.000 m.s.n.m. en la precordillera. Hay presencia de cursos de agua temporarios que presentan algunas crecidas torrenciales en épocas estivales, las que desembocan en el único curso de agua permanente del sector, el río Mendoza.

El área de estudio se encuentra inserta en un dominio morfoclimático semiárido, donde la vegetación es escasa, existen grandes pendientes y son frecuentes los eventos de precipitación intensa en época estival, situación que genera distintos tipos de amenazas naturales. A estas amenazas naturales externas, se suman la frecuencia de eventos sísmicos que aumenta el riesgo potencial para la vida humana.

Es evidente, que por la constitución actual del territorio en el área de estudio, la ocurrencia de eventos de remoción en masa no han sido considerados en la ocupación del mismo, situación que puede ser explicada por la ausencia de planificación a niveles institucionales.



Esta debilidad a nivel institucional incrementa la vulnerabilidad por la ausencia de una planificación territorial adecuada a condiciones físicas especiales. Es importante mencionar que la vulnerabilidad en este estudio a diferencias de otros, no trata sobre una poblaciones que estén debajo de la línea de pobreza como comúnmente ocurre en estudios de riesgo, sino que predomina una diversidad entre un nivel adquisitivo alto a medio.

Un ejemplo claro de la existencia de zonas de riesgo se ve reflejada con la existencia de viviendas localizadas a escasos metros de terrazas del Río Mendoza, convirtiéndose estos terrenos como sitios poco estable e incrementando su vulnerabilidad ante la presencia de amenazas naturales.

Si bien Laveli Alan, hace mención que en la actualidad existen estudios sobre amenazas naturales, amenazas socio-naturales, antrópico-contaminantes y antrópico-tecnológicas, esta investigación se centrará en identificar sólo las amenazas naturales, si bien hay una creciente intervención humana en el área de estudio aún prevalece el dominio del ambiente natural.

Análisis de los Factores Condicionantes

En el área de estudio se procederá a realizar un análisis morfométrico de las cuencas teniendo en cuenta los principales parámetros para la descripción de su comportamiento como perímetro (mt), área (km²), altura media de la cuenca (mt). Además se tendrán en cuenta los parámetros más específicos. A continuación se analizará los factores que condicionan los movimientos en masa, para lograr una comprensión sistémica de los fenómenos, teniendo en cuenta:

Red de Drenaje: se abordó teniendo en cuenta la pendiente y el Índice de Compacidad de Gravelius que permite saber a partir de la forma de la cuenca (redonda u ovalada) el tiempo que tarda en llegar la onda de crecida a la desembocadura, información que permite inferir la capacidad erosiva de la crecida. Este índice se calcula a partir de la siguiente fórmula:

$$I_c = 0,28 \frac{P}{\sqrt{S}}$$

Donde:

: I_c es el Índice de Compacidad.

P : es el perímetro de la cuenca.

S : es la superficie de la cuenca.

0.28 : constante de Roché (1963).

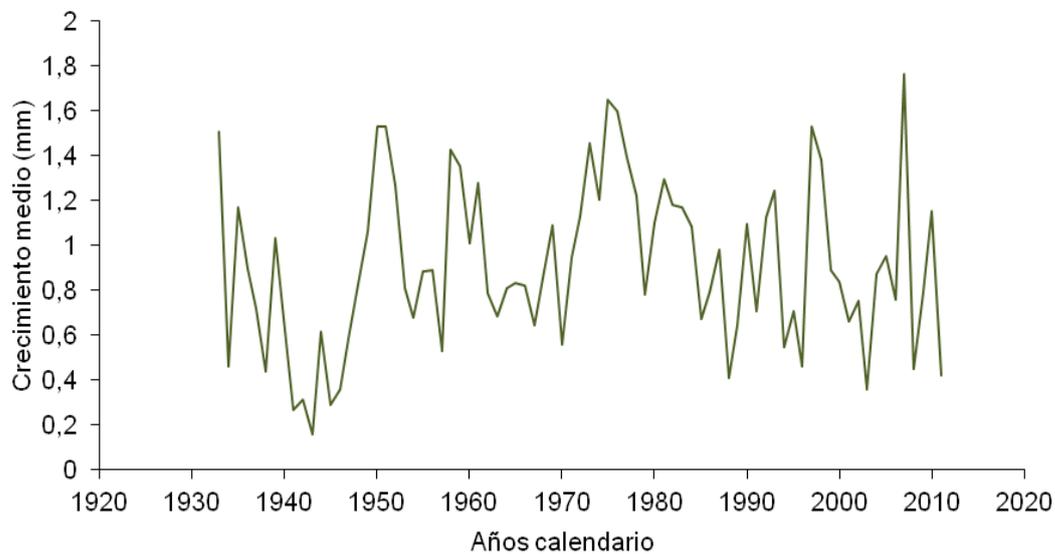
Densidad de Drenaje de Horton: considerando que una alta densidad de drenaje aumenta el caudal máximo de las crecidas al haber una menor infiltración en dichas cuencas. Se realizaron interpretaciones de imágenes satelitales con *software* gratuito, más observación directa en el terreno para determinar las dimensiones de los lechos fluviales existentes.



Calculando además, el coeficiente de torrencialidad que se asocia a los procesos de erosión y a la capacidad de descarga de la cuenca, donde altos valores elevada susceptibilidad a la erosión, menor tiempo de llegada al pico y alta torrencialidad. Se calcula a partir de la siguiente fórmula:

$$= \frac{\text{N}^\circ \text{ de cursos de agua de 1}^\circ \text{ orden}}{\text{superficie de cuenca (km}^2\text{)}}$$

Pendiente media del cauce: permite describir cómo el cauce de una cuenca influye directamente sobre la velocidad del flujo, se calcula de la siguiente manera:



Donde:

J_c : Pendiente media del cauce (%)

H_{\max} : Altitud máxima del cauce (mt).

H_{\min} : Altitud mínima del cauce (mt).

$$I_c = 0,28 \frac{P}{\sqrt{S}}$$

L : Longitud del cauce principal (mt).

Geomorfología y pendiente media de la cuenca: es un índice que sintetiza la pendiente de una cuenca, su cálculo es importante ya que a través de la velocidad del escurrimiento, influye en el tiempo de concentración.

Para el estudio de la dinámica de una cuenca se hace referencia a la pérdida de agua y retardos en el escurrimiento, para lo que es fundamental tener en cuenta los condicionantes



como la cubierta vegetal y el tipo de suelo. Se establecen rangos de pendiente según umbrales morfodinámicos basados en Araya y Börgel [12], estos serán analizados como umbrales desencadenantes de procesos:

Umbrales Morfodinámicos

Pendientes		Concepto	Umbral Geomorfológico
Grados	% Aprox.	Pendiente	
2 - 5	4,5 - 11,0	Suave	Erosión débil, Erosión difusa, inicio de regueras.
5 - 10	11,0 - 22,0	Moderada	Erosión moderada a fuerte, inicio erosión lineal, desarrollo de regueras.
10 - 20	22,0 - 44,5	Fuerte	Erosión intensa, erosión lineal frecuente Cárcavas incipientes.
20 - 30	44,5 - 67,0	Muy Fuerte a Moderada y Escarpada	Cárcavas frecuentes, Movimientos en masa.
30 - >de 45	67,0 - >de 100,0	Muy escarpada a Acantilada	Inicio derrubiación, Desprendimientos y Derrumbes, Corredores de derrubios frecuentes.

Figura

6:

Umbrales morfodinámicos

En cuanto a la geomorfología del área de estudio fue estudiada a partir de análisis de imágenes satelitales y de relevamiento en campo. Se realizó cartografía que detalla no solo las geoformas dominantes, sino también, zonas con existencia de movimientos en masa, además se estudiaron las terrazas actuales del río Mendoza, las terrazas antiguas y en los barrancos de las quebradas para determinar zonas con probabilidad de ocurrencia de movimientos en masa.

Pérdida de vegetación: por incendios, eventos muy recurrentes en el piedemonte mendocino. Para ello se tuvieron en cuenta las actividades antrópicas (actividades recreativas, deportivas y de ocio) como uno de los factores desencadenantes de posibles focos de incendios, ya que, el valor paisajístico, la accesibilidad y las costumbres de los pobladores del lugar genera un ámbito propicio para el uso frecuente del fuego. Por lo que se identificó, a partir de cartografía, zonas que hayan sufrido pérdida de vegetación por incendios, teniendo en cuenta los factores condicionantes como: el estudio de las formaciones vegetales para determinar la posibilidad de propagación del fuego en caso de un evento y sumado al estudio de las condiciones climáticas locales, abordadas desde las condiciones topoclimáticas, mediante el uso del Modelo Digital de Elevación (MDE) y de los registros meteorológicos, donde la densidad de cobertura vegetal mitiga en gran parte los movimientos en masa con la retención del suelo lograda con sus raíces y la interceptación de lluvias con su follaje lo que permite atenuar la erosión superficial, para su estudio se calculará el Índice Normalizado de Diferencias Vegetacionales (NDVI) a partir de imágenes



Landsat TM. Finalmente se realizaron Modelo Digital de Elevaciones (MDE) donde se obtuvieron valores de altitud y exposición del área de estudio, en base a curvas de nivel con equidistancia cada 50 metros que sirvieron para la identificación de los umbrales de desencadenamiento de procesos, principalmente gravitacionales, y para la descripción y análisis geomorfológico de la cuenca.

Factor Litológico: se estudiaron a partir de la interpretación de observación directa y de una caracterización general del tipo de suelo dominante en el área de estudio. Analizando su procesos de formación, teniendo en cuenta formaciones geológicas generales y determinando los materiales más propensos a ser erosionados o a desencadenar otro tipo de procesos geomorfológicos.

A partir de una metodología cualitativa se analizaron todos los condicionantes tenidos en cuenta para este estudio, la finalidad es la elaboración de un mapa de amenazas. Para ello será necesario representar cartográficamente cada una de los condicionantes, darle un peso que represente el grado de susceptibilidad, esto significa significa: determinar la probabilidad que un condicionante favorezca más o menos a la ocurrencia de algún tipo de movimiento en masa. Finalmente se realizarán configuraciones espaciales unificando los valores de peso y generando clases de valores de riesgo para representar cartográficamente.

Factores Desencadenantes

Los dos factores desencadenantes de movimientos en masa que se analizarán son: actividad sísmica que se estudiará la identificación y distribución espacial de los sismos según magnitud y profundidad [7].

Otro factor desencadenante que se tuvo en cuenta es la intensidad de las precipitaciones, considerando que eventos $\geq 6.6\text{mm}/24\text{hs}$, desencadenan movimientos en masa en ambientes áridos como es el caso del piedemonte de Mendoza, este umbral se tuvo en cuenta para estimar la posibilidad de ocurrencia de movimientos en masa.

Análisis de vulnerabilidad

Una vez analizadas las Amenazas Naturales se prosigue con el análisis de la Vulnerabilidad del área de estudio, para la cual se tiene en cuenta dos variables que hacen referencia a: los elementos físicos-estructurales y los aspectos sociales - económicos de los habitantes del área de estudio, más las instituciones a cargo de la planificación y organización del lugar.

Vulnerabilidad Físico Estructural: para esta variable se localizaron las infraestructuras a partir de la interpretación de imágenes satelitales y relevamiento para determinar cuales de éstas se encuentran cercanas o sobre amenazas naturales. Posteriormente se clasificará según tipos, en los casos que su localización este en riesgo dependiendo de la cercanía al área de influencia de las terrazas fluviales y de los barrancos de las quebradas. Es así que se seleccionara estas construcciones como vulnerables, teniendo en cuenta sus características



intrínsecas. En segundo lugar se estudia si el código de edificaciones municipal contempla restricciones en áreas con amenazas, además de verificar en el terreno el tipo y el material de las construcciones, toda esta información para poder establecer niveles de vulnerabilidad en la población. Finalmente a partir de un análisis de los registros socio - económicos de los Municipios se evaluara el accesos a los servicios, lo que ayudará a estipular en caso de una amenaza las ventajas con las que cuenta la población residente.

Vulnerabilidad Económico Social: para esta variable se estudió la debilidad institucional, para lo cual, se necesita corroborar si existe organización y compromiso político por parte del Municipio, información que será recabada a partir de entrevistas claves a profesionales de la Dirección de Planificación Urbana. Posteriormente se analizaron los indicadores sociales tenidos en cuenta en el ultimo Censo Nacional para obtener un diagnóstico del nivel económico-social de la población residente en el área de estudio y de esta manera determinar sectores de alto, mediano o bajo nivel adquisitivo. Finalmente se generó un mapa de vulnerabilidad donde se consideraron aquellas infraestructuras que se vean afectadas por algún tipo de movimiento en masa, otorgándole un peso según la probabilidad de ser dañada.

Análisis de Riesgo

Finalmente y como último paso se realizó una cartografía final de riesgo. Para ello se tiene en cuenta que el riesgo es el producto de la amenaza por la vulnerabilidad, el cual se muestra a continuación

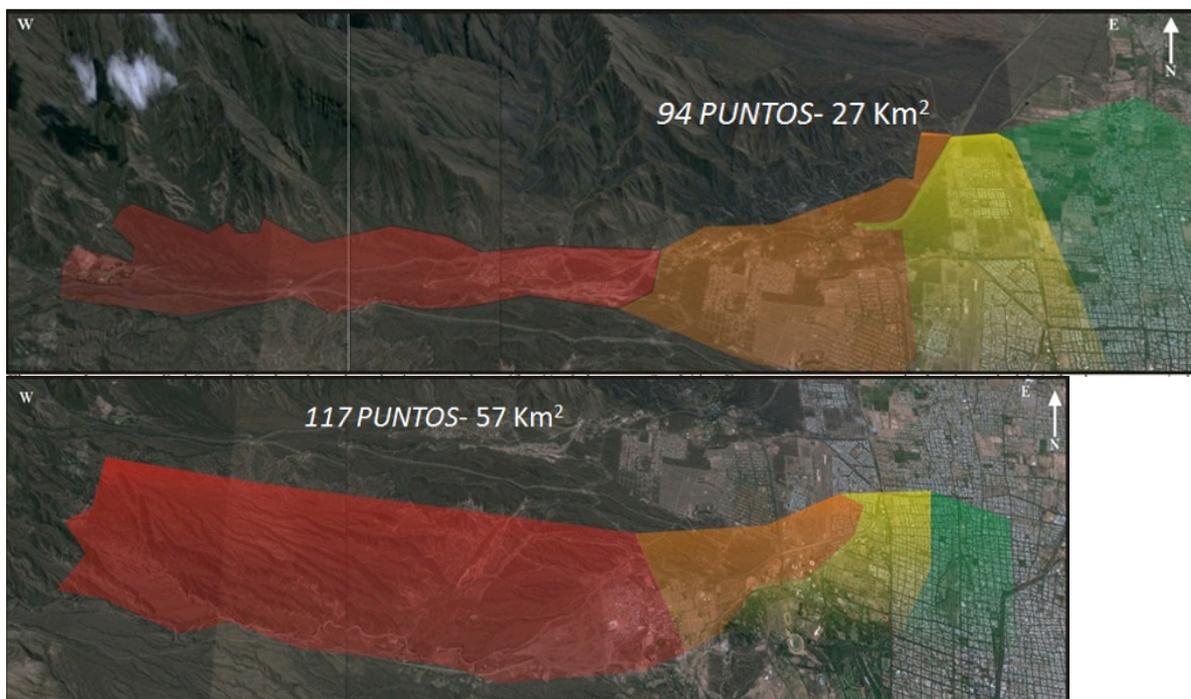




Figura 7: Zonificación en las cuencas Papagayos, Frías y Maure (realizó Delamarre)

PROPUESTAS Y CONCLUSIONES

Medidas importantes a promover:

- Fomentar en la población el sentido de solidaridad con los vecinos de áreas que se encuentran aguas abajo relacionado con los desperdicios.
- Identificar los problemas que hay en las diferentes zonas.
- Interiorizarse de estudios que hay en la provincia de Mendoza.
- Alentar y promover la gestión de obras hidráulicas.
- Aumentar la superficie irrigada, fomentando una superficie tipo parque con el fin de evitar el escurrimiento superficial.

Debido a fenómenos pluviométricos de corta duración temporal, gran intensidad y volumen de agua liberado se generan los procesos de debris flood (enmarcado como un fenómeno de remoción en masa transportándose material a través del piedemonte de la ciudad de Mendoza. El levantamiento de algunas estructuras de edad cuaternaria (como la falla Divisadero Largo), genera endicamiento sobre uno de los ríos, alterando su cauce y generando que sectores con alto grado de población se vean afectados por eventos de DF. La vegetación presente en el sector, es parcial y de poca altura por lo que el evento de remoción en masa presenta un disparador importante al momento de su ocurrencia. Las cuencas analizadas, son cuencas de evacuación de sedimentos de una importante magnitud sobre las cuales se asientan las obras de defensa aluvional del sector noroeste del piedemonte. Esta obras ingenieriles brindan protección parcial de la población que resguardan. La creciente población en el área, predominando clases sociales indigentes y bajas por encima de clase media y alta, introduce un disparador de vulnerabilidad muy alto, por lo que si se aplica el concepto de riesgo (amenaza por vulnerabilidad), se aprecia un escenario de alto riesgo en los sectores medios a proximales del área analizada.



BIBLIOGRAFÍA

- [1] Capitanelli, R. (1972). Geomorfología y Clima de la provincia de Mendoza. P.15-48, en: Geología, Geomorfología, Climatología, Fitogeografía y Zoogeografía de la Provincia de Mza. Reedición especial del Boletín de la Sociedad Argentina de Botánica 8. Edit. Roig.
- [2] Vich, A. y Pedrani, A.(eds.). (1993). Programa de Investigación y Desarrollo: manejo Ecológico del Piedemonte. Mendoza: Ministerio de Medio Ambiente Urbanismo y Vivienda - CRICYT. Unidad de manejo Ecológico de Cuencas.
- [3] Abraham, E., Roig, F., Ibañez, G., Salomón, M. y Llorens, R. (2002). Aptitud Urbana del Piedemonte al Oeste del Gran Mendoza. IX Jornadas Cuyanas de Geografía.
- [4] Sepulveda, E., 1998. Hoja Geológica Mendoza, 3369-II. Programa Nacional de Cartas.
- [5] Folguera, A., Etcheverría, M., Pazos, P., Giambiagi, L., Cortés, J.M., Fauqué, L., Fusari, C. y Rodríguez, M.F. 2004. Descripción de la Hoja Geológica Potrerillos (1:100.000). Subsecretaría de Minería de la Nación, Dirección Nacional del Servicio Geológico, 262 p., Bs.As.
- [6] Costa, C.; Cisneros, H.; Bea, S.; Gardini, C.; Pérez, I. y Pérez, M. (2002). Peligro sísmico. En: Carta de Peligrosidad Geológica 3369 -II. Mendoza. Provincias de Mendoza y San Juan. Subsecretaría de Minería de la Nación y Servicio Geológico Minero Argentino, Mza.
- [7] INPRES (1995). Microzonificación sísmica del Gran Mendoza. Instituto Nacional de Prevención Sísmica. Resumen ejecutivo. Publicación Técnica N° 19, 269 pp, San Juan.
- [8] Rodríguez, E.J y Barton, M. (1990). Geología del Piedemonte a oeste de la Ciudad de Mendoza. 10° Congreso Geológico Argentino, Actas 1: 460-463.
- [9] Milana, J. P. y Zambrano, J. J. (1996). La cerrillada pedemontana mendocina: un sistema geológico retrocorrido en vías de desarrollo. Asociación Geológica Argentina, Revista 51 (4):289-303
- [10] Bastías, H; Tello, G. E.; Perucca, J. L. y Paredes, J. D. (1993). Peligro sísmico y neotectónica. 12° Congreso Geológico Argentino y 2° Congreso de Exploración de Hidrocarburos. En: Ramos, V.A. (Eds): Geología Argentina y Recursos Naturales de Mendoza, Relatorio 6-1: 645-658.
- [11] Regairaz, M. (2000): Los suelos en la Provincia de Mendoza. En: Atlas básico de Recursos de la Región Andina Argentina. Capítulo " Provincia de Mendoza" . E. Abraham y F. Rodríguez. M. Coordinadores. Junta de Andalucía. España.
- [12] Araya, J. y Börgel, R. 1972. "El uso de la carta 1:50.000 del Instituto Geográfico Militar en la confección de unidades geográfico-físicas". Primer Simposio Cartográfico Nacional, Instituto Geográfico Militar. Pp. 263-269.



Manejo Integral de Ecosistemas de Montaña: Conservación Participativa del Cordón del Plata y Áreas Colindantes

A. Davis, L. Suárez, R. Moyano, J. Herrera¹, T. Bilbao, Ma. P. Córdova², Ma. P. Llosa, E. A. Pigretti (h)³

¹*Oikos Red Ambiental, Mendoza*

²*Instituto de Ciencias Ambientales, Universidad Nacional de Cuyo, Mendoza*

³*Carrera de Especialización en Derecho Ambiental, Universidad Católica Argentina, Bs.As.*

andre.adavis@yahoo.com

RESUMEN

Desde comienzo de los años noventa, el desarrollo de marcos normativos vinculados a la gestión integrada de sistemas de montaña ha tomado auge a escala global. La primera iniciativa de regulación regional fue el Tratado de Los Alpes, seguido por el Tratado de los Cárpatos. Con el objeto de proteger los ecosistemas de montaña y elevar el nivel de vida de los pobladores, se crea la Alianza para las Montañas de la Organización de las Naciones Unidas, resultado de la Cumbre Mundial sobre el Desarrollo Sostenible de 2002, y el Programa de Trabajo sobre Diversidad Biológica de Montañas (2004), formulado en el marco del Convenio sobre la Diversidad Biológica (1992). Haciéndose eco de este movimiento, en 2005 se crea en Argentina, el Comité para el Desarrollo Sustentable de las Regiones de Montaña, cuyo objetivo principal es articular políticas comunes y vincular actores relativos al tema.

En este contexto, el presente trabajo se enfoca en la gestión integrada de los ecosistemas de montañas en Mendoza, Argentina; concretamente, procura promover el manejo integral del Cordón del Plata y sus áreas colindantes, impulsando la participación de actores clave en los procesos de gestión, tomando como marco conceptual el Enfoque Ecosistémico. De este modo y atendiendo a la complejidad jurídico-administrativa que reviste el territorio bajo estudio, el trabajo se organiza en torno a tres ejes: (i) gestión integral de ecosistemas de montaña a escala global y su repercusión en Argentina; (ii) gestión de las altas cumbres del Cordón del Plata: Parque Provincial Cordón del Plata; (iii) gestión de zonas bajas y colindantes al Cordón del Plata: Área Ambiental Municipal Protegida Potrerillos, Departamento de Luján de Cuyo.

A modo de conclusión, se destaca que los escenarios globales marcan perspectivas alentadoras en cuanto a la incorporación de enfoques de gestión integral y basados en nuevos paradigmas. Por otro lado, en cuanto al caso de estudio, continúa siendo un desafío lograr la gestión integral del Cordón del Plata, para lo cual se recomienda realizar acciones dirigidas a mejorar la vinculación entre el saber científico, la función pública y la participación comunitaria. Asimismo, se sostiene la necesidad de reafirmar y fortalecer la identidad de montaña para lograr la efectiva integración de conceptos y comportamientos sociales. En este sentido, se espera que el presente trabajo acompañe el proceso de desarrollo sustentable en zonas de montaña, tanto a nivel local como en la región andina.



INTRODUCCIÓN

Los espacios de montañas presentan valores ambientales particulares, son lugares clave para la regulación de los recursos hídricos, reservas de biodiversidad, sitios de interés científico y portadores de valores culturales. Cabe destacar que son las principales fuentes de agua dulce, ya que el 50 % del agua dulce de superficie del mundo proviene de ellas [1]. Sus ecosistemas son frágiles y sensibles a las presiones antropogénicas de los usos del suelo y Cambio Climático, por lo que se consideran zonas prioritarias de conservación. Asimismo sus imponentes paisajes han dado lugar a importantes manifestaciones culturales y espirituales de pueblos antiguos y presentes.

A lo largo de los últimos años, diversas regiones montañosas del mundo promueven el desarrollo de marcos de regulación integral que abarcan aspectos vinculados a la conservación y ordenamiento territorial. Así surge el Tratado de los Alpes en 1991 y de los Cárpatos en el año 2003. Movimientos paralelos tuvieron lugar en las montañas del Cáucaso y Los Apeninos. La ONU toma protagonismo en este movimiento y en la Cumbre de Cambio Climático de 2002, declara ese año como “Año Internacional de las Montañas” y creó la “Alianza para las Montañas”, organismo que tiene por objeto promover el desarrollo sostenible de las regiones de montaña en el mundo.

La Argentina no es ajena a este movimiento, y en el año 2005 se crea el “Comité para el Desarrollo Sostenible de las Regiones de Montañas de la Rca. Argentina” dentro de la Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación.

La provincia de Mendoza, ubicada en los Andes Centrales, está ocupada en un 30% por la Región Biogeográfica Altoandina. Si bien el 20% de la misma se encuentra protegida bajo figuras de conservación de administración provincial (Áreas Protegidas provinciales), los problemas de conservación son crecientes: ausencia de planes de gestión, escasa participación ciudadana, concentración en la toma de decisiones, conflictos por usos del suelo en zonas colindantes, degradación del patrimonio natural y cultural, etc. Por tal motivo se pretende estudiar desde el punto de vista de la conservación de funciones ecosistémicas, el caso del Cordón del Plata -CdP-, el cual forma parte de la Cordillera Frontal mendocina, ubicada entre la precordillera y cordillera principal, siendo un caso particular en el que convergen diversos actores y herramientas vinculadas a la conservación. Se consideraron para el caso, las altas cumbres ubicadas por encima de los 2.000msnm, así como las zonas bajas o colindantes ubicadas entre los 2.000msnm y río Mendoza (1.200msnm).

La zona de las altas cumbres, fue declarada Parque Provincial Cordón del Plata -PPCdP- en el año 2011, con el objetivo principal de proteger el recurso hídrico. Las zonas colindantes, albergan aproximadamente 2.000 habitantes permanentes en sus villas cordilleranas reconocidas por su cabecera “Potrerillos”, y por sus importantes valores paisajísticos, naturales y culturales. Durante los últimos años se ha incrementado notablemente la



actividad turística y asentamientos humanos, lo cual condujo a conflictos y reclamos de los pobladores. Consecuentemente se formó una Comisión Integradora de carácter multidisciplinar, integrada por organismos científico-técnicos vinculados a la temática y coordinados por el Municipio de Luján de Cuyo, que dio como resultado la propuesta de creación y posterior aprobación del Área Ambiental Municipal Protegida Potrerillos -AAMPP-, como reserva de usos múltiples.

En este contexto, el objetivo del presente trabajo es estudiar, desde un enfoque integral y ecosistémico, las tendencias regulatorias regionales e internacionales en materia de montaña, así como la situación de conservación del Cordón del Plata (PPCdP) y sus áreas colindantes (AAMPP), impulsando la participación y vinculación entre actores claves.

El proyecto se lleva adelante desde el año 2011 a partir de un equipo de trabajo de carácter multidisciplinario, abocado a investigar modelos de gestión adecuados para sistemas de montaña, participar del proceso de organización y gestión local para la conservación de montañas en la provincia de Mendoza y en particular el CdP, así como realizar actividades de educación ambiental, asesoramiento a diferentes actores involucrados y promover la participación y vinculación entre los mismos. De esta manera, y considerando la cordillera de los Andes un eje regulador de valores ecosistémicos estratégicos e integrador del territorio latinoamericano, quedan abiertas las puertas a futuras y necesarias investigaciones, no sólo en relación a los puntos mencionados, sino en toda la temática de montañas que involucra a la Argentina y a la región andina de Sudamérica.

MARCO CONCEPTUAL Y METODOLÓGICO

Zona de estudio y planteo del problema

La provincia de Mendoza se encuentra emplazada en la ladera oriental de los Andes Centrales, donde se elevan algunos de los picos más altos de dicha cordillera. Un tercio de la superficie total de Mendoza (53.500 km²) se encuentra ocupado por montañas. En esta zona se identifican tres formaciones orográficas principales: Cordillera Principal, Cordillera Frontal y Precordillera, representadas principalmente por las regiones biogeográficas Andina y Alto Andina, con expresiones de Puna en las laderas norte y de Monte en los valles intermontanos [3].

Sin embargo, el 70% del territorio provincial es llano y presenta condiciones climáticas áridas, semiáridas y sub-húmedas secas, con precipitaciones medias anuales de 200 y 400mm. El 97% de la población y las actividades socio-productivas se concentran en los oasis irrigados, correspondiente al 3% de superficie provincial. Estas áreas son altamente dependientes del derretimiento de glaciares andinos para proveerse de agua potable y riego.



El CdP forma parte de la Cordillera Frontal de los Andes y representa una de las fuentes de alimentación de agua más importante de la cuenca hidrológica del Río Mendoza, la cual abastece a un millón de habitantes y 120 mil has. de tierras agrícolas, en el oasis norte provincial [4]. Posee ámbitos esenciales de riqueza ecosistémica que prestan múltiples servicios ambientales. A su vez existe en los pliegues de su geomorfología un aspecto trascendente: conforman un espacio de integración cultural, histórica y socio-económica. Desde el punto de vista socio-cultural, el CdP y sus áreas colindantes revisten un considerable valor para la identidad mendocina, en tanto albergan restos arqueológicos, antropológicos, historias y leyendas que reflejan la idiosincrasia provincial. Además, el área es visitada por numerosos montañistas locales, nacionales e internacionales y sus cumbres nevadas son visibles desde la Ciudad de Mendoza, constituyendo un punto común de referencia.

Actualmente, el CdP enfrenta diversos tipos de conflictos y amenazas que varían en escala y magnitud, comprometiendo sus valores naturales y culturales. Estos escenarios cambiantes son consecuencias del Cambio Climático global y el cambio local en los usos del suelo. Este último se advierte en la intensificación de las actividades turísticas y recreativas, así como en el acelerado crecimiento de villas con residentes permanentes y visitantes estacionales sin adecuado control ni planificación.

Si bien resulta evidente que el CdP y sus áreas colindantes representan una unidad territorial-ambiental y cultural, las herramientas de gestión y conservación efectuadas en la zona, denotan un escenario jurídico-administrativo complejo que dificulta la gestión integral del área (Imagen N°1). Las altas cumbres de este sistema montañoso andino se encuentran protegidas bajo jurisdicción provincial con la figura de PPCdP, colindante hacia el oeste con el Parque Provincial Tupungato, correspondiente este último a la Cordillera Principal. Por otro lado, el territorio ubicado hacia el límite oriental del PPCdP, por debajo de la cota de los 2000msnm, fue protegido luego de reiterados reclamos de los pobladores, con la creación del AAMPP, categorizada de “usos múltiples” y bajo jurisdicción municipal del departamento de Luján de Cuyo. Esta misma fue creada recientemente y lleva el nombre de su villa cabecera, “Potrerillos”. Alberga aproximadamente a 2.000 pobladores permanentes distribuidos en villas cordilleranas entre los 1.200 y 1.900msnm. Esta zona conforma la cuenca del Río Blanco, un importante afluente permanente del Río Mendoza, también alimentado por los glaciares del CdP. A su vez, el Río Blanco abastece una planta potabilizadora que provee de agua potable a la Ciudad de Mendoza, como única fuente alternativa al Río Mendoza [5]. Mencionada cuenca desemboca en el Embalse Potrerillos, de gran relevancia como regulador de agua para consumo humano, riego e industria, en el oasis norte de la provincia, y regulado bajo la figura de conservación Perilago Potrerillos, cuya gestión está a cargo de una comisión interinstitucional.

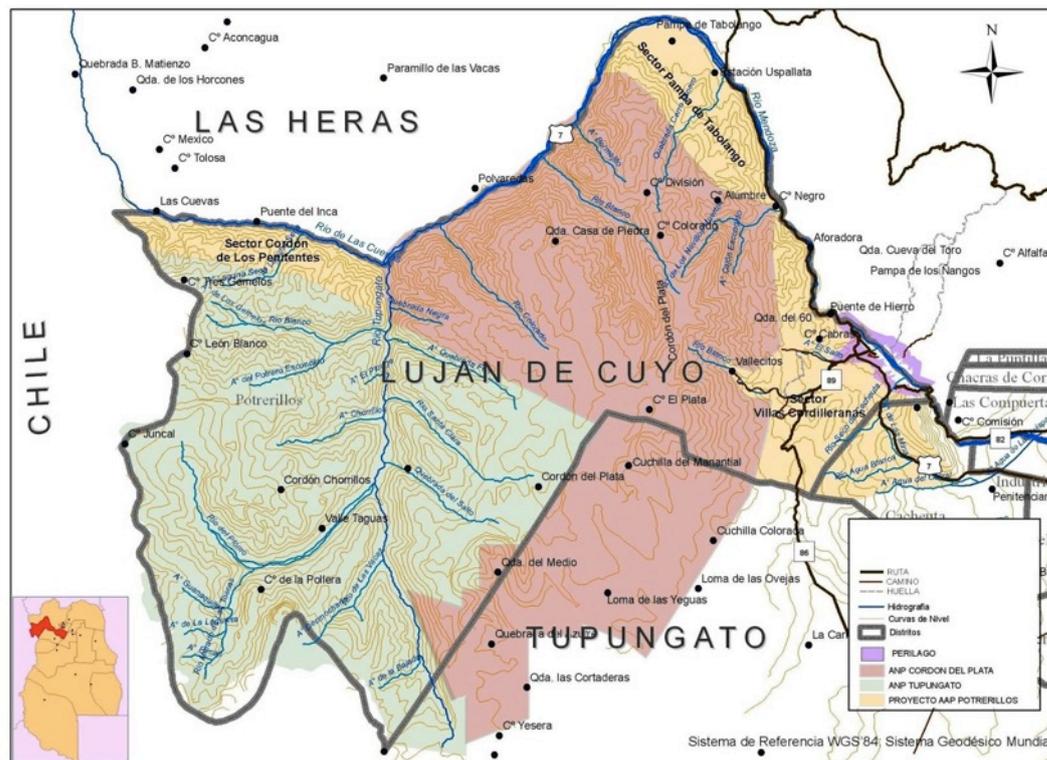


Imagen N° 1: Ubicación relativa de las Áreas Protegidas en torno al Cordón del Plata. De oeste a este: Parque Provincial Tupungato, Parque Provincial Cordón del Plata, Área Ambiental Municipal Protegida Potrerillos, Perilago Potrerillos. Fuente: Municipio Luján de Cuyo, 2011.

Perspectiva teórico-metodológica: Enfoque Ecosistémico

Se tomó como marco conceptual y metodológico el Enfoque Ecosistémico -EE- desarrollado por Andrade [6]. La visión ecosistémica, ha sido considerada globalmente desde comienzos de los años noventa por la Comisión de las Naciones Unidas para el Desarrollo Sostenible. Se sustenta en el concepto de *ecosistema* como marco integrador para la comprensión de las relaciones del hombre con el paisaje. Refiere al entendimiento de la interdependencia entre los sistemas naturales, tanto físico como biológico y los sistemas sociales, con el fin de lograr metas y políticas específicas. Comprende doce principios, en los cuales propone una visión integral del territorio promoviendo su conservación y uso sostenible de forma justa y equitativa. A su vez, es el esquema principal para la acción bajo el Convenio de Diversidad Biológica (CDB), la UNESCO¹ lo ha implementado para las Reservas de la Biosfera, del mismo modo la ELAP² y la UICN³ han promovido fuertemente su aplicación.

Etapas de trabajo

Se consideraron 3 áreas de estudio:

- Gestión integral de ecosistemas de montaña a escala global y su repercusión en Argentina.

¹ Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura

² Escuela Latinoamericana de Áreas Protegidas

³ Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza



- Gestión de las altas cumbres del CdP (superficie ubicada sobre la cota de 2.000msnm): PPCdP;
- Gestión de zonas bajas y colindantes al CdP: Área Ambiental Municipal Protegida Potrerillos.

Dentro de cada área, se realizaron tareas de diagnóstico general, que incluye aspectos normativos, identificación de actores, identificación participativa de valores naturales y culturales, así como impactos antrópicos y conflictos territoriales.

Se participó en espacios de gestión de carácter nacional (Comité de Montañas), provincial (Consejo Asesor de Áreas Naturales Protegidas) y municipal (Comisión Integradora del AAMPP). A su vez se realizaron entrevistas a actores claves identificados, a los fines de comprender las relaciones entre ellos y promover su participación e integración.

Por último se realizaron aportes y recomendaciones como elaboración de documentos, asesoramiento a distintos actores, difusión y transferencia a través de medios de comunicación, estrategias de educación y otras actividades relativas.

RESULTADOS

Gestión integral de ecosistemas de montaña a escala global y su repercusión en Argentina

Las características particulares de los sistemas montañosos han sido aprovechadas de múltiples maneras por el hombre. En ellos coexisten no sólo flora y fauna autóctona, sino además actores sociales con intereses diversos. Coinciden allí también, normas de carácter nacional, provincial y local que regulan distintas materias, dando lugar a controversias y conflictos. De este modo, surge la necesidad de generar una política integradora, que permita proteger estos ecosistemas y lograr la conciliación de intereses, en el marco de los principios generales de prevención y de precaución ambiental acuñados en la Declaración de Río sobre Medio Ambiente y Desarrollo de 1992 y receptados por la legislación nacional.

Durante los últimos veinte años, se ha producido un intenso movimiento internacional que promueve el desarrollo sustentable de los ecosistemas de montaña, definiendo marcos que propician su gestión integral. La primera iniciativa de regulación regional de montañas se realiza en el año 1991 con la firma del convenio marco de la Convención de los Alpes, en vigor desde 1995 y a partir de la cual se dictan ocho protocolos referidos a agricultura, turismo, transporte, bosques, protección de la naturaleza y cuidado del paisaje, protección del suelo, energía, ordenación territorial y desarrollo sostenible. Con similares procesos, en el año 2003 se firma el Tratado para la protección y el desarrollo sostenible de los Cárpatos, en vigor desde 2007. En consecuencia, a la fecha se han aprobado tres protocolos comunes para las partes integrantes, sobre conservación y uso sostenible de la diversidad biológica y del paisaje, manejo sustentable de bosques y turismo sustentable. Asimismo, en 2006 se establece una Red transfronteriza de aldeas de montaña del Cáucaso y se firma el Convenio de los Apeninos en Italia [7]. El año 2002 marca un hito en la consideración internacional de



los sistemas de montaña, al ser declarado “Año internacional de las montañas” por la ONU⁴. En ese mismo año, dicho organismo también creó la Alianza para las Montañas en el marco de la Cumbre Mundial sobre el Desarrollo Sostenible desarrollada en Johannesburgo, lo cual consolidó lo establecido en el Programa 21 (Río de Janeiro, 1992) sobre regiones montañosas. Posteriormente, la Alianza para las Montañas, organismo conformado por países, asociaciones civiles, organizaciones intergubernamentales y el sector privado, dio origen a la Iniciativa Andina de la Alianza para las Montañas, cuya primera reunión subregional se realizó en la provincia de Tucumán, Argentina, en 2007.

Este proceso internacional continuó en el año 2004, cuando el órgano director del Convenio sobre la Diversidad Biológica incorpora al anexo de la convención la Decisión VII/27 sobre Diversidad Biológica de Montañas, con lo cual se aprueba un programa de trabajo para acompañar y lidiar con los problemas característicos de los ecosistemas de montaña en los países miembros. En 2010, las partes de la Convención adoptan el Plan Estratégico 2011-2020, el cual reforzó la necesidad de proteger la diversidad biológica de montañas. Asimismo, el tema fue tratado en la convención de Río sobre Cambio Climático en el año 2012 [2, 13].

Por su parte, Argentina se hizo eco de este movimiento internacional y en el año 2005 creó el Comité para el Desarrollo Sustentable de las Regiones de Montaña en el seno de la Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación. Este Comité, cuyo objetivo es articular las estrategias de los distintos organismos competentes en las áreas de montañas, promueve la organización de Comités regionales y/o provinciales y actualmente también apoya la realización de convenios de hermanamiento entre municipios italianos y argentinos en el marco del Programa AISIM⁵. Además, participó de la elaboración de un Diagnóstico general de montañas para la República Argentina, coordinado por la FAO⁶ [2, 12].

La provincia de Mendoza, comienza a incorporar estos nuevos paradigmas mediante la incorporación del Enfoque Ecosistémico en la gestión de sus Áreas Protegidas, las cuales han funcionado históricamente de manera desintegrada.

Los marcos normativos internacionales y las iniciativas locales expuestas, permiten advertir la complejidad que el manejo integral de ecosistemas de montaña implica y, asimismo, brindan herramientas y modelos con los cuales proponer alternativas de gestión para la región de CdP.

Altas cumbres del Cordón del Plata, Parque Provincial Cordón del Plata

Se consideraron altas cumbres del CdP al territorio ubicado a una altitud mayor de 2.000msnm, sin presencia de asentamientos humanos permanentes. Su extensión pertenece mayormente al Departamento de Luján de Cuyo y en menor superficie al Departamento de Tupungato. El área fue declarada Parque Provincial por Ley Provincial N° 8.308/11 y su

⁴ Organización de las Naciones Unidas

⁵ Argentina-Italia por un Sistema Integrado de Montañas

⁶ Organización de la Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura



autoridad de aplicación es la Dirección de Recursos Naturales Renovables del Gobierno de Mendoza.

El PPCdP protege 175.000has. y tiene por objeto preservar de contaminación antrópica los recursos hídricos, desde la naciente hasta su captación en el valle de Potrerillos; proteger los ecosistemas naturales y las especies de flora y fauna que allí se desarrollan; conservar el patrimonio arqueológico y paleontológico de la región; y conservar el carácter natural de los paisajes de alto valor escénico e importancia ecológica.

Debido a su difícil acceso, marcada pendiente y condiciones climáticas extremas, las actividades humanas realizadas en la zona son de baja intensidad, destacándose el montañismo, turismo, recreación e investigación. La ganadería equina y vacuna, desarrolladas tradicionalmente en el área, han disminuido frente al avance del turismo que se presenta como alternativa laboral para los pobladores locales. Por otro lado, la zona presenta un importante potencial minero, reflejado en numerosos cateos que fueran fuente de conflicto antes de la declaración del área protegida -AP-.

La zona de ingreso, Vallecitos, presenta la mayor presión antrópica del PPCdP, especialmente impactos derivados de la intensificación de actividades deportivas y recreativas no reguladas, las cuales dejan rastro en forma de contaminación fecal, degradación de flora e introducción de especies exóticas, afectación de comportamiento de fauna autóctona, residuos y escombros no recolectados y fragmentación de vegas por apertura de senderos y campamentos. Este impacto se intensifica durante la temporada estival, cuando el aumento de montañistas en el PPCdP incrementa el uso de ganado mular y los prestadores de servicios realizan el vuelco directo de afluentes a ríos.

A los fines de favorecer la comprensión de la gestión del área, se participó del Consejo Asesor de Áreas Naturales Protegidas del Gobierno de Mendoza y se realizó un relevamiento de los impactos en la zona en dos momentos claves respecto al uso público del AP. Esto permitió acompañar y monitorear el desempeño de la agencia gubernamental responsable de la gestión del área y hacer recomendaciones en torno a la misma.

Asimismo, se intentó incrementar la conciencia pública sobre la importancia de la conservación del PPCdP y fomentar la participación de la comunidad en el manejo del mismo. Para ello se identificó y consultó a los actores claves de la zona, quienes demostraron desconocimiento respecto a la existencia del AP y a las alternativas de participación en su gestión.

Los desafíos emergentes refieren a la necesidad de recursos financieros, técnicos y operativos por parte de la autoridad de aplicación, la articulación con el área colindante de administración municipal y la apertura de instancias informativas y de participación real de la comunidad local, nacional e internacional.



Zonas bajas y colindantes al Cordón del Plata: Área Ambiental Municipal Protegida Potrerillos

El distrito de Potrerillos se ubica en el Departamento del Luján de Cuyo, a 60km de la Ciudad de Mendoza, sobre la Ruta Nacional N°7, dentro del denominado Corredor Andino. En los últimos años se produjo en la zona un avance no planificado de las actividades humanas, consecuencia de la cercanía del área con la Ciudad de Mendoza y el Embalse Potrerillos, la conectividad con el corredor bioceánico y su belleza paisajística. Este escenario se describe en numerosos estudios [8, 9, 10], y generó el reclamo de los pobladores que bregaron por la protección del paisaje natural, la tranquilidad y convivencia en el lugar. Atendiendo a este reclamo, en 2011 se conformó una Comisión Integradora de carácter multidisciplinar e interinstitucional, coordinada por el Municipio e integrada por organismos científico-técnicos, organismos de gestión y entidades vecinales, cuyo resultado fue la propuesta de creación de un Área Protegida Municipal. El mismo año la zona fue declarada AAMPP por Ordenanza Municipal Nro. 10.378, dentro de la categoría de “usos múltiples”, cuyo organismo de aplicación es la Dirección de Turismo del Municipio de Luján de Cuyo. Tiene por objetivo preservar el paisaje, la naturaleza y la tranquilidad; conservar el ecosistema natural y humano propiciando el desarrollo sustentable; y organizar la ocupación del espacio a fines de lograr un desarrollo humano ecológicamente sostenible, especialmente equilibrado y socialmente justo.

El área alberga las villas cordilleranas ubicadas entre los 1.400 y 1.900msnm. Limita al oeste con el margen oriental del PPCdP, siendo Potrerillos su principal vía de ingreso y receptora de visitantes; hacia el este limita con el Río Mendoza y el Perilago Potrerillos. Éste último es administrado por la Comisión Interinstitucional del Perilago (Decreto Provincial Nro. 280/02).

Se destaca entre sus valores ambientales el recurso hídrico, cuyo sistema está conformado por numerosos arroyos de aporte temporal y permanente, manantiales, agua subterránea y vegas asociadas, abastecidos por los glaciares y permafrost presentes en la parte alta de la cuenca. Los arroyos conforman el río Blanco que desemboca en el Embalse Potrerillos y abastece una planta potabilizadora. A su vez, es destacable la riqueza de biodiversidad, ya que el gradiente altitudinal favorece el desarrollo de diversos pisos ecológicos, propio de ambientes surcados por quebradas y valles intermontanos, con variación de pendiente, insolación, tipo de suelo, altitud y disponibilidad de agua. Es abundante la presencia de avifauna propia de humedales andinos así como nuevas especies provenientes de la existencia del embalse. Por otro lado, el AAMPP presenta un patrimonio cultural de gran valor, sitios arqueológicos que datan de más de 1.000 años, evidenciados por restos de comunidades agrícolas y utilización de canteras [11], asimismo restos paleontológicos, historias y leyendas, paisaje implantado y convivencia de pobladores temporales y permanentes identificados con las montañas. Las actividades culturales tradicionales comprenden jineteadas, domas, peñas y encuentros, que se integran con propuestas más recientes como radios y televisión



comunitaria, revista local, cine, ferias artesanales, clubes, recuperación de plazas y espacios públicos.

Entre las principales actividades antrópicas y usos del suelo que se desarrollaron se destacan las actividades ganaderas, actualmente muy reducidas, vinculadas a la trashumancia del ganado entre Argentina y Chile, lo cual dio lugar a la tradición de puesteros-ganaderos en la zona. En el último siglo, se construyeron cabañas y refugios de aficionados a la montaña y, en los últimos veinte años, se aumentó el crecimiento de los asentamientos humanos con la construcción de residencias temporaria pertenecientes en su mayoría a habitantes de la Ciudad de Mendoza. Actualmente la actividad turística-recreativa toma cada vez más auge así como el establecimiento de nuevos pobladores permanentes. La agricultura en la zona se encuentra remitida sólo a pequeñas parcelas de forrajeras y huertos caseros. La extracción de áridos bentonita también se desarrolla en pequeña escala.

El mencionado crecimiento de la actividad turística y recreativa, intensificada con la construcción del Embalse Potrerillos, ha impactado en la zona generando residuos sólidos urbanos y escombros, contaminación del suelo y cauces hídricos. Asimismo, se presentan casos de alambrado y modificación de cauces, vuelco directo de efluentes y aguas grises sin tratamiento, drenado de vegas para construcción, pérdida de biodiversidad por desmonte, fragmentación de ecosistemas, extracción de especies nativas, introducción de exóticas, caza furtiva, construcciones clandestinas, deficiencias de servicios públicos (agua, transporte, servicios sanitarios), problemas de inseguridad y vandalismo, así como privatización de senderos tradicionales. Esta situación no solo pone en riesgo los valores ambientales sino también las relaciones entre los habitantes y actividades que éstos desarrollan.

En cuanto a la identidad del valle, los nuevos residentes y visitantes practican actividades de entretenimiento no siempre compartidas por los antiguos pobladores, marcando conflictos puntuales. Tal es el caso del uso de cuatriciclos, fiestas y eventos sociales. Estas diferencias también se observan en torno a la utilización del suelo que genera la competencia entre la ganadería, uso residencial y el turismo. Es así como la gestión del sitio se ve dificultada por la diversidad de actores e intereses coexistentes: pobladores permanentes y temporarios, visitantes locales y extranjeros, prestadores de servicios, colectividades, uniones vecinales, organismos de gestión municipal y provincial e instituciones científico-técnicas, entre otros; muchos de los cuales desconocen el área como reserva y, por ende, el significado, las oportunidades y las responsabilidades que implica habitar en un AP. Resulta evidente entonces, la necesidad de trabajar en el desarrollo de una herramienta de manejo integral del área, con la participación de los diferentes actores involucrados.

En este sentido, se colaboró desde el inicio con la Comisión Integradora desarrollando talleres con los pobladores locales a fin de identificar y priorizar las problemáticas del área. Esto



permitió elaborar un diagnóstico de la zona, que servirá como herramienta para la elaboración del Plan de Gestión -PG-. Asimismo, se propiciaron instancias de transferencia y educativas (reuniones informativas, talleres educativos en escuelas, publicaciones en revistas locales). Cabe destacar que el proceso manifestó discrepancias entre el Municipio y la comunidad de Potrerillos, las cuales condujeron a la reformulación de la elaboración del PG, con la participación activa de un grupo de pobladores.

En este caso, uno de los mayores desafíos para el Municipio es la coordinación de la gestión en un territorio donde coexisten múltiples actores e intereses, así como figuras de conservación con diferentes unidades de aplicación: Parque Provincial, Área Ambiental Municipal y Perilago Potrerillos gestionados por el gobierno, el Municipio de Luján de Cuyo y la Comisión Interinstitucional, respectivamente. Dicha articulación resulta fundamental para lograr un manejo integral de los ecosistemas presentes en la zona. Se observa también como desafío a superar, la dificultad por parte del Municipio para ejercer un control adecuado sobre el desarrollo de eventos turísticos y recreativos, los cuales en muchos casos no cumplimentan con el estudio de impacto ambiental correspondiente. Por su parte, es deficiente la comunicación y educación relativas a la conservación de zonas de montañas y desarrollo local, por lo que se sugiere la promoción y difusión de estos conceptos dirigida a establecimientos educativos, organizaciones locales, y prestadores de servicio turístico [14, 7].

Si bien la experiencia de gestión municipal de AP es relativamente nueva en la provincia, se considera una buena opción para la descentralización de la gestión e integración de actores, permitiendo una mejor accesibilidad entre el Municipio y los pobladores locales, asimismo lograr tomas de decisión, involucrando y comprometiendo a los actores intervinientes, especialmente los más cercanos al territorio. Por otro lado, resulta una herramienta prometedora para el gobierno provincial, el cual presenta limitaciones debido a la insuficiencia de recursos para llevar adelante la gestión de las AP. En esta dirección, es necesario avanzar en las tareas de difusión de los valores del área entre la población, incentivando la participación responsable y activa, así como la realización e implementación de los planes de gestión y ordenamiento territorial del sitio, sin perder de vista que la conservación no es un obstáculo para el desarrollo, sino que sistemas naturales sanos ofrecen también oportunidades de desarrollo económico local.

DISCUSIÓN

Experiencia de aplicación de una metodología compleja y participativa

Cabe mencionar en este apartado la experiencia de la aplicación de una metodología compleja que implica un compromiso y participación activo, así como la integración de conceptos y enfoques nuevos, vinculando espacios de gestión, actividades de extensión y un marco de investigación. Esto fue motivo de un continuo enriquecimiento individual y colectivo



dentro del grupo de trabajo y hacia la comunidad, logrando brindar herramientas de gestión, crear y fortalecer vínculos que no existían previamente. Cobró especial importancia el trabajo en grupo, los recorridos de campo y el aprendizaje producto de la interacción con diferentes sectores y actores, portadores de diversas percepciones y conocimientos, formales o no, sobre las funciones ecosistémicas, valores culturales y gestión del territorio.

Respecto a los resultados, cabe destacar que el trabajo requiere una continuidad y tiempos relativos a procesos sociales y de gestión. Si bien los resultados arrojan desafíos y propuestas claras, se requiere continuar con investigaciones adicionales, tanto en materia de aplicación y conocimiento de modelo de conservación, como en el conocimiento de estado actual de los recursos naturales, así como evolución de los impactos ambientales y culturales identificados.

Impactos antrópicos y modelos de conservación

Es debate actual la confrontación entre ideales de conservación y el avance de impactos antrópicos como consecuencias territorios que presentan cambios y transformaciones continuas. Los modelos de gestión de Áreas Protegidas presentes en la provincia y el país vagamente responden a este complejo dinamismo, ajustados en la conservación de superficies estáticas, más que funciones dinámicas entre las distintas áreas de un ecosistema. Asimismo son reiterados los casos en que se considera la creación de un AP como fin de un proceso de conservación, quedando secundario la correcta evaluación de receptividad del sitio, riesgos naturales, identificación y fortalecimiento de recursos sociales y culturales locales, participación, desarrollo local y adecuada implementación del Plan de Gestión. Es apropiado incluir en este debate la necesidad de integrar en la gestión y planificación los modelos de conservación reconocidos bajo la figura de APs como un insumo para el ordenamiento territorial.

Gobernanza descentralizada, el valor de lo local

Merece atención la importancia de conocer e incorporar marcos regionales y globales de conservación, teniendo en cuenta la especificidad de los procesos en cada territorio, los cuales no pueden ser fácilmente transportables a otros sitios. En este sentido el EE remarca la dirección hacia la gobernanza lo más descentralizada y participativa posible, en donde puedan incorporarse adecuadamente variables propias de cada caso, así como recursos que conlleven a soluciones particulares. En este sentido, remarcamos como recurso la riqueza cultural de zonas de montañas, rescatando esta región como espacio de intercambio e integración. En el caso de estudio, durante cientos de años (en tiempos prehispánicos, mientras Mendoza perteneció a la capitanía General de Chile e incluso después de los procesos independendistas), los valles centrales de Chile y la región de Cuyo se enriquecieron con la circulación de las ideas que emanaban de sus pueblos. La cordillera es desde entonces generadora de identidades a ambos lados del territorio que ocupa y es el espacio común dónde éstas se nutren de esa interacción. De este modo, los idearios culturales, sociales,



políticos, económicos, agrícolas o industriales, e incluso libertarios, de uno y otro lado de los Andes, se enriquecieron en forma conjunta, superando además las coyunturas propias de cada época. Punto este a tener en cuenta al momento de idear nuevos proyectos de integración regional y de concebir la cadena montañosa como articuladora de procesos.

Participación ciudadana, educación y comunicación

Es necesario reforzar el carácter identitario de los pobladores con su ambiente, así como una actitud responsable y participativa ante la gestión y definición de alternativas de desarrollo local de un territorio. En este sentido resulta fundamental alentar la participación efectiva de los pobladores y diferentes actores en el proceso de adopción de decisiones, lo cual permite identificar oportunidades locales de autosustento basadas en la conservación. Asimismo, los valores culturales, tradiciones y conocimientos locales deben ser reconocidos e incluidos en la planificación y las políticas de desarrollo, favoreciendo la circulación de ideas, colaboración de esfuerzos, respeto por las diferencias, reconocimiento mutuo entre diferentes actores.

Es posible vislumbrar ante escenarios de cambios la posibilidad de engendrar nueva identidad local, que debe superar las resistencias iniciales y adoptar nuevos enfoques y herramientas provenientes de los diferentes actores involucrados. En el caso de Potrerillos, es notable la participación de pobladores recientes comprometidos con las causas sociales y ambientales.

Este proceso puede verse potenciado con la aplicación de herramientas de integración, fortalecimiento, educación y comunicación como: espacios de capacitación sobre servicios ambientales, impactos y oportunidades en zonas de montaña, incluyendo el fenómeno del Cambio Climático debido a su particular repercusión en dichas áreas; asimismo, dirigidos a organizaciones locales, pobladores, estudiantes. Incluir estos contenidos en los planes específicos de escuelas de montaña o formación terciaria. Por otro lado fomentar la existencia de medios de expresión y comunicación local.

CONCLUSIONES

Actualmente existe un intenso movimiento internacional respecto a la regulación y desarrollo sostenible de montañas. Además de iniciativas como el tratado de Los Alpes o el de Los Cárpatos, la ONU ha tomado protagonismo creando la Alianza para las montañas e impulsando la creación de comités de montaña en numerosos países del mundo. La llegada de este movimiento a la Argentina, donde las montañas cubren un 19% del territorio [2], era sólo cuestión de tiempo y así, en el año 2005 se crea el Comité para el Desarrollo Sostenible de las Regiones de Montaña de la Rca. Argentina.

A partir de estas circunstancias, y compartiendo el mismo interés por las montañas, se forma un equipo interdisciplinario con el objetivo de profundizar conocimientos en el tema y aportar las habilidades de cada miembro en pos del desarrollo sostenible de estas regiones.



La intención desde el principio ha sido generar acciones concretas a partir del conocimiento real del área, enfocando el trabajo, a ese fin, en la provincia de Mendoza. Allí, la labor se centra en la zona del CdP, recientemente declarada Parque Provincial, y en las zonas bajas y colindantes del CdP, como Potrerillos. Esta localidad fue declarada AAMPP. Luego de haber colaborado con distintos organismos, como la Comisión Integradora del AAMPP y el Consejo Asesor de Áreas Naturales Protegidas del Gobierno de Mendoza, realizado relevamientos de impactos en las zonas de estudio, identificando riesgos y problemáticas, dialogando con pobladores y ofreciendo talleres realizados en conjunto con actores de la zona, además de brindar sugerencias a los distintos organismos para fortalecer la gestión, creemos que hemos cumplido nuestro objetivo de acompañar el desarrollo sostenible de la región desde nuestra posición. Y creemos que el trabajo logra describir, a través de la utilización del enfoque sistémico, la situación actual de estos puntos de la montaña mendocina.

Surge claramente que el área presenta enormes desafíos en la gestión, tanto desde el punto de vista real como normativo: en el territorio coexisten múltiples actores e intereses, y diferentes figuras de conservación - Parque Provincial, Área Ambiental Municipal y Perilago de Potrerillos- con distintos organismos de aplicación como la Dirección de Recursos Naturales Renovables del Gobierno de la Provincia, el Municipio de Luján de Cuyo y la Comisión Interinstitucional del área del Perilago de Potrerillos. Se observa entonces la ardua tarea de lograr la gestión descentralizada e integrada de las áreas de montaña, vinculando el saber científico-académico, la función pública y la participación comunitaria. Y como consecuencia se sostiene la necesidad de reafirmar y fortalecer la identidad de montaña para lograr la efectiva integración de conceptos y comportamientos sociales.

Los temas pendientes para futuras investigaciones y acciones son múltiples. Entre ellos se puede mencionar: articular las distintas figuras administrativas y jurídicas para armonizar la gestión de la región montañosa en su conjunto; impulsar la gestión integrada del recurso hídrico, promoviendo la conservación y uso sostenible del agua mediante enfoques de ordenación y mecanismos institucionales que superen fronteras administrativas; propender a un ordenamiento territorial de los ecosistemas montañosos; incorporar las herramientas devenidas de la gestión de riesgo de desastre, como instrumento de prevención; promover la participación ciudadana y la educación ambiental, reforzando la identidad de los pobladores con su ambiente.

Alentamos a continuar con futuras investigaciones sobre el tema e integrar los trabajos que se desarrollan actualmente con el fin de obtener perspectivas multidisciplinarias y participativas, entendiendo que es la forma más óptima de trabajar a favor del desarrollo sostenible de regiones de montaña.



REFERENCIAS

- [1] Programa de Acción Nacional de la Lucha contra la Desertificación (PAN), Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la República Argentina, 2011. Suelos y culturas de montaña. Periódico Digital. Entrega N°39. Argentina,
- [2] P. Santarelli, 2011. Diagnóstico Nacional de las Zonas Montañosas de la República Argentina. FAO
- [3] M.E. Abraham, F. Martinez. 2000. Recursos y problemas ambientales de la zona árida. Primera parte. Provincias de Mendoza, San Juan y La Rioja. Vol 1-2. PAN/SDSyPA-INTA-GTZ, IADIZA, U. de GRANADA. Argentina.
- [4] Departamento General de Irrigación. FAO-PNUD. 2004. Plan Director del Río Mendoza. Proyecto PNUD/FAO/ARG/00/008. Mendoza, Argentina.
- [5] J. Zuluaga et al, 2008. Caracterización de contaminantes del río Blanco previo a su descarga en el embalse Potrerillos, Mendoza.V Congreso del Comité Argentino de Presas. Tucumán. Argentina.
- [6] A.Andrade 2007. Aplicación del Enfoque Ecosistémico en Latinoamérica. CEM-IUCN. Bogotá, Colombia.
- [7] J.A. Caride, O. M. Pereira, G. Vargas, 2007. Educacao e desenvolvimento comunitário local. Perpectivas pedagógicas e sociais da sistentabilidade. Profedicoes, Lda./ Jornal a Página de Educacaon. Brasil.
- [8] Centro de Estrategias Territoriales para el Mercosur (CETEM), 2001. Plan estratégico de acción para la gestión integrada y el desarrollo sostenible de Luján de Cuyo. Secretaría de obras y servicios públicos Municipalidad de Luján de Cuyo. Facultad de Filosofía y letras- Universidad Nacional de Cuyo. Mendoza, Argentina.
- [9] Ministerio de ambiente y obras Publicas, Gobierno de Mendoza, 1998.Declaración de Impacto Ambiental del Proyecto Embalse Potrerillos. Resolución N° 1784-AOP- Mendoza, Argentina.
- [10]Ambiental S.A., 1998. Manifestación General de Impacto Ambiental Emprendimiento Potrerillos. Mendoza, Argentina.
- [11]V, Cortegoso, 2006. Comunidades agrícolas en el Valle de Potrerillos (NO de Mendoza) durante el Holoceno tardío: organización de la tecnología y vivienda. Intersecciones antropol. n.7 Olavarría. ISSN 1850-373X. Argentina.
- [12]Comité Para El Desarrollo Sustentable De Las Regiones de Montaña De La Rca. Argentina, 2007. Presentación institucional. Buenos Aires, Argentina.
- [13]Asamblea General Naciones Unidas (UN), 2009. Desarrollo sostenible de las regiones montañosas. A/64/222.
- [14]J. Elbers, (Editor), 2011. Las áreas protegidas de América Latina: Situación actual y perspectivas para el futuro.UICN. Quito, Ecuador.



Procesos de segregación residencial y su incidencia en la configuración de escenarios de riesgos naturales en el gran Mendoza

Fermani Sebastián (1), Ruiz, Diego (2), Cisneros Héctor (2)(3)(4)(5)

(1) *Universidad de Congreso, Colón 90, M5500GEN, Ciudad de Mendoza, Argentina, E-mail sebastianfermar@yahoo.com.ar*

(2) *Investigador Independiente*

(3) *Universidad Nacional de San Luis, Ejército de los Andes 950 - D5700HHW - San Luis - Argentina.*

(4) *Universidad Juan Agustín Maza Av. de Acceso Este, Lateral Sur 2245 - Guaymallén, Mendoza, Argentina*

(5) *Universidad Nacional de Cuyo, Ciudad Universitaria, Mendoza*

Palabras clave: segregación residencial, estructura de oportunidades, riesgos naturales, ordenamiento territorial.

INTRODUCCIÓN

La complejidad de la temática ambiental genera un espacio de convergencia de dimensiones del conocimiento, en donde resulta necesario reconocer vínculos procedentes de los diversos ámbitos a efectos de construir marcos de análisis integradores, con enfoque sistémico.

Entendiendo conceptualmente al ambiente como aquellas relaciones establecidas entre el soporte físico-biológico y los grupos sociales, responsables de la asignación de valores y usos de los recursos presentes en el primer soporte referenciado, el campo social se configura como un elemento central y estratégico en la construcción de realidades ambientales.

Las problemáticas ambientales, resultantes del desequilibrio relacional entre los soportes planteados conceptualmente, se manifiestan como una dimensión de problemáticas sociales (siendo los sujetos y sus comunidades los responsables, directos o indirectos, del destino de sus recursos y creación de condiciones del medio donde se desarrollan). La complejidad de la dimensión social y su vinculación con el campo ambiental, en consideración con las relaciones de causalidades sistémicas y recíprocas entre ambas dimensiones, genera un escenario óptimo para el análisis estructural de las problemáticas ambientales.

El presente trabajo realiza una aproximación de análisis de las características principales de los procesos de segregación residencial con presencia en el Gran Mendoza, su incidencia en la construcción de escenarios de riesgos ambientales y su consecuente impacto en la estructura de oportunidades entre clases sociales vinculadas a la temática de estudio.



Modificaciones en los procesos económicos y políticos como resultante de un nuevo escenario social en la Argentina

Para abordar la temática objeto de estudio y establecer un marco de comprensión asociada a la complejidad que adquiere el fenómeno en su conjunto, resulta imprescindible describir la configuración del escenario social en la República Argentina, representativo de la provincia de Mendoza, en las últimas décadas. Dicho escenario no escapa a una lógica que abarca en general a la mayoría de los estados en América Latina y que podría conceptualizarse como la representativa de lo que se denominó el “consenso de Washington”.

Entre los aspectos más representativos, los cuales se desarrollaron en el marco de profundas transformaciones en los parámetros de organización económica, resulta necesario destacar modificaciones en la lógica de la organización del estado, pasando de un rol intervencionista del mismo, a una lógica de libre competencia del mercado basado en una visión neoliberal, siendo este el nuevo lugar donde se estructuran las nuevas relaciones sociales, dando como resultado nuevos escenarios sobre los cuales se desarrollan las sociedades contemporáneas.

Teniendo en cuenta que al principio este nuevo eje de organización estatal produjo resultados alentadores, hacia finales de la década de los 90, se pudieron observar sus efectos nocivos, dentro de los cuales podemos remarcar el incremento de la desocupación, la creciente desigualdad social, el deterioro de los servicios públicos y el debilitamiento del entramado social (López, s/d).

Como elemento característico de esta nueva organización, es importante mencionar el supuesto crecimiento económico en la región y en especial en la Argentina, dentro de los cuales los índices de pobreza han aumentado considerablemente dejando en evidencia la concentración del capital en pocos sectores de la población, dando como resultado el desequilibrio en la distribución de las riquezas, generando una realidad paradójica difícil de explicar, ya que al mismo tiempo que se produce un crecimiento económico considerable, aumenta los índices de pobreza y desigualdad en la sociedad.

Lo mencionado anteriormente se sustenta en el marco de la consolidación de un modelo capitalista basado en la libre competencia del mercado y en un mundo en el cual la globalización se presenta como eje estructural, dentro de las cuales la dimensión social y las políticas orientadas a hacer frente a esta temática quedan reducidas únicamente a una perspectiva de un derrame de capital económico proveniente de los sectores altos hacia los sectores medios y bajos.

Como resultado se observa un nuevo escenario social, que tiene como eje principal un impacto que trascienden a los sujetos, quienes se ven despojados de su base de



integración, imposibilitando la conformación de los sujetos como actores colectivos, con la consecuente pérdida de los mecanismos sociales y estatales que permiten una mayor cohesión e integración en la participación social y cuya eclosión se puede observar en las crisis económicas y sociales que azotaron a la región y en especial a la Argentina a finales del siglo XX.

Segregación residencial (consolidación de mecanismos de reproducción de desigualdades sociales)- Tendencias latinoamericanas

La segregación residencial es un proceso mediante el cual las poblaciones se asientan en espacios de composición social homogénea. La configuración de estos espacios va a estar condicionada por el grado de urbanización, la concentración de ingresos, las estructuras sociales propias de la zona o región y el grado de homogenización étnica, religiosa, etc. de la población (Katzman, 2001). Estos procesos reciben el nombre de homogeneización del espacio urbano (Svampa, 2001).

El proceso de segregación residencial en los países de Latinoamérica ha sido una consecuencia fundamental de la transformación continua que las sociedades han experimentado y que se ha visto plasmada en el modelo de ocupación del territorio (Katzman, 2001), muchas veces sin tener en cuenta los riesgos asociados a estos espacios.

Esta segregación se da como consecuencia de múltiples factores que se interrelacionan dando como uno de los resultados, las actuales configuraciones territoriales. Uno de los fenómenos sociales sustantivos provocados por los escenarios descritos es la segmentación laboral. La misma se encuentra relacionada al acceso de ciertas fuentes laborales fijas o temporarias que son hitos de referencia para que quienes se desempeñan en ellas se aglomeren en torno a las mismas formando espacios comunes.

Sin embargo uno de los factores más relevantes y que hacen a la segmentación estructural y no a la coyuntural es la segmentación educativa. Dado que la educación es uno de los instrumentos para el progreso y que es éste el principal medio para lograr la movilidad social, a la vez que se convierte en un ámbito para la integración social, que es capaz de generar contextos en los que niños y adolescentes considerados pobres, tengan la oportunidad de crear redes y vínculos con pares de otros estratos y desarrollar códigos comunes. Para esto es necesario que los gobiernos locales propendan a lograr una educación de calidad a la que puedan acceder niños de todos los estratos sociales, dado que si se traslada esta estratificación social al acceso a la educación, el sistema educativo no podrá ser de ayuda para promover la integración social y evitar la marginalidad.

Cabe destacar que la educación está estrechamente relacionada con el acceso a las fuentes laborales, dado que son los contactos sociales y el desarrollo de capacidades los que



generan certidumbre respecto al logro de empleos adecuados.

Un fenómeno cada vez más notorio 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).

La situación descrita anteriormente se ve agravada con la concentración de necesidades de vida cotidiana, dentro de espacios físicos concretos (educación, comercios, trabajo, etc), fenómeno denominado “medio ambiente totales”, caracterizado por la permanencia continua de los individuos dentro de contextos territoriales definidos, dado que poseen una satisfacción de todas sus necesidades cotidianas dentro de estos espacios. Esta pérdida de espacios públicos imposibilita el establecimiento de relaciones informales entre individuos procedentes de diversas clases sociales, en un ambiente caracterizado por condiciones de igualdad compartido (López, s/d).

Cabe destacar que esta configuración del tejido territorial y esta segmentación social se da en el contexto de una organización del estado que, por un lado tuvo serias falencias en la planificación del territorio y, por otro, priorizó los intereses del mercado. Esta situación se profundiza con el modelo neoliberal y políticas asociadas al mismo, que configuran el actual funcionamiento de la economía. A su vez, también se manifiesta en la divergencia de los diferentes estratos sociales al acceso a los servicios básicos y a la distribución de los mismos en el territorio. Mientras estas diferencias de acceso se mantengan y sean invariables en el tiempo se acrecentará el aislamiento de los sectores menos favorecidos y reducirá sus posibilidades de inserción en forma estable al mercado del trabajo y por consecuencia la falta de empleos formales hará que el mercado laboral pierda su protagonismo como referente central de la organización social y como medio garante de promover la movilidad en los en los estratos sociales.

Esta falta de equidad entre los estratos sociales y las desigualdades en la posibilidad de movilidad y desarrollo, se manifiestan en la actual forma de uso del espacio geográfico y en las consecuentes formas de uso de los recursos presentes en el mismo. Por lo que el factor social se presenta como pilar fundamental para el logro del desarrollo sustentable y para el manejo y prevención de riesgos ambientales.

Implicancias de la segregación residencial en la estructura de oportunidades

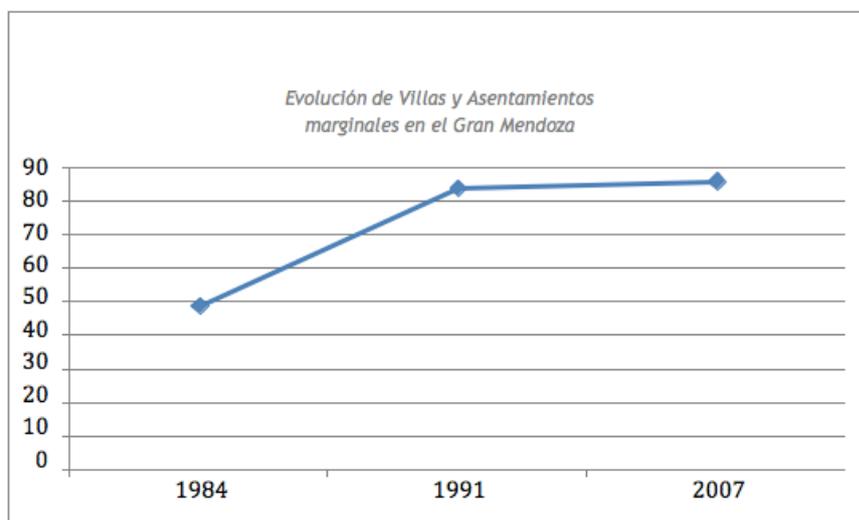
En el marco de las relaciones establecidas entre los procesos descritos y la estructura de oportunidades de los sujetos afectados por los mismos, es necesario resaltar uno de los elementos asociados a la vulnerabilidad social, denominados "activos". Los mismos se refieren a la presencia y dominio de recursos, simbólicos y materiales (capitales educativos, económicos, familiares, físicos, participación en redes sociales,



entre otros) que determinan en gran medida la inserción y participación en escenarios sociales concretos (Filgueira, 2001).

En este sentido la geografía de oportunidades adquiere un papel sustantivo. La distancia y acceso entre los lugares de residencia y espacios laborales y educativos, sumado al deterioro de activos del portafolios de los hogares segregados, construyen dinámicas que reproducen estos fenómenos (PNUD, 2009). Es importante destacar que, generalmente, en los barrios segregados existen servicios colectivos de reducida calidad, utilizados sólo por estos sectores (Sorj y Martuccelli, 2008).

La segregación residencial es un fenómeno que promueve desigualdades territoriales, producto de la complejidad y constituirse como un elemento desencadenante de múltiples efectos con afectación en la dimensión social (PNUD, 2009). En el caso de la Provincia de Mendoza, situación compartida por otras provincias de Argentina, se visualiza un incremento de asentamientos informales en el territorio. Dicha necesidad responde a demandas concreta de sectores sociales que precisan la provisión de hábitats. Se identifica en las últimas décadas un aumento sustancial de lo mencionado, al considerar una duplicación en la década del 90 de asentamientos informales (tomando como referencia base los asentamientos de la década del 80). Si bien en el año 2004 se registra una cantidad relativamente estable (respecto de la década anterior), se observa un incremento de pobladores en los asentamientos existentes (densificación) (Lentini, et. al., 2008).

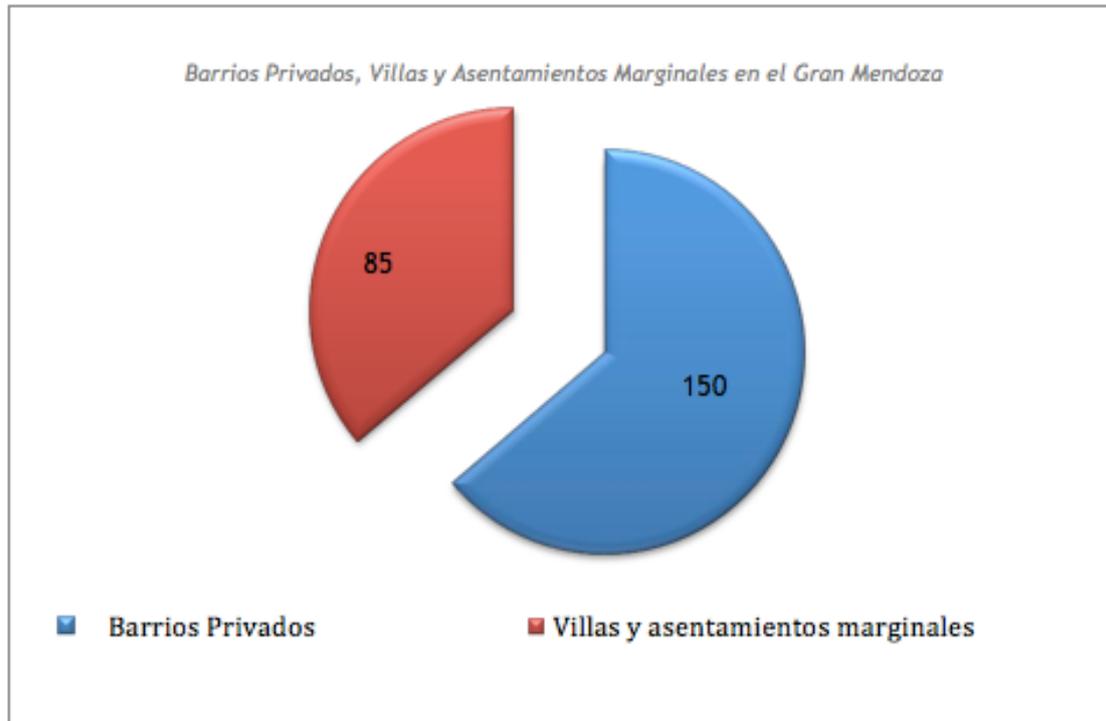


Fuente: elaboración propia. Datos consultados del Centro de Estudios sobre Asentamientos Humanos, CEAH. Facultad de Ciencias Políticas y Sociales, Universidad Nacional de Cuyo.

También es de particular interés el crecimiento de urbanizaciones cerradas (privatización del espacio público por parte de sectores sociales homogéneos). Este tipo de asentamientos representan elementos de exclusión centrales, en donde las barreras físicas (representados por muros y otros dispositivos) se constituyen en barreras sociales (Caldeira, 2000).



En el Gran Mendoza se identifica un crecimiento progresivo de este tipo de urbanizaciones (PNUD, 2009). A continuación se representa gráficamente la proporción de asentamientos marginales y urbanizaciones cerradas, tomando como referencia valores del año 2008.



Fuente: elaboración propia. Datos consultados del Centro de Estudios sobre Asentamientos Humanos, CEAH. Facultad de Ciencias Políticas y Sociales, Universidad Nacional de Cuyo.

Realidad geomorfológica de la Provincia de Mendoza. Construcción del tejido urbano.

Geomorfológicamente la Provincia de Mendoza exhibe 3 grandes unidades: región montañosa, Piedemonte Precordillerano y llanura (entre otras subunidades se destacan conos y abanicos aluvionales, depresiones, cauces, etc.).

La ciudad de Mendoza y sus departamentos circunvecinos se encuentran ubicados en una de las zonas más expuestas a nivel nacional a efectos desastrosos de origen natural (especialmente hidrológico y geológico). La vulnerabilidad a las amenazas naturales ha aumentado dramáticamente en algunas localidades y barrios de Mendoza, en particular del cinturón marginal empobrecido, como consecuencia de una expansión urbana rápida y no del todo ordenada. En muchos casos no se han tomado en cuenta las medidas preventivas adecuadas en el diseño de la infraestructura y en el desarrollo de la producción de bienes y servicios, así como en su ubicación, en el control de la calidad de la construcción o en su mantenimiento.

Debido a la falta de conocimientos sobre el riesgo, se sigue ubicando a las inversiones en áreas peligrosas y sin aplicar las prácticas adecuadas de prevención y mitigación. El aumento



poblacional que ha experimentado el Área Metropolitana de Mendoza introduce modificaciones en la superficie urbanizada y dinámica distributiva de las comunidades sociales sobre el territorio. La predominancia de desplazamiento sobre áreas periféricas, sin orientación urbana preestablecida (planes de desarrollo y ordenamiento territorial) se traduce en la aparición de serias problemáticas ambientales, en donde la configuración de riesgos naturales, sobre todo para sectores más desfavorecidos de la estructura social, ocupa un lugar central.

CONCLUSIONES

El crecimiento poblacional y la ausencia de políticas que orienten el ordenamiento territorial de la región, se traduce en la configuración de un espacio urbano sumamente marcado por la consolidación de una segregación residencial, concentrada en las periferias urbanas, donde los sectores más desfavorecidos se instalan y desarrollan en lugares en donde, por sus características geomorfológicas y climáticas, existen importantes peligros naturales. Dadas las características de estas poblaciones (nivel de educación, infraestructura, ingresos, etc) la vulnerabilidad a sufrir efectos adversos ante estos eventos naturales es diferencial frente a otras clases sociales, las cuales se emplazan en otros lugares geográficos más “seguros” y poseen otras herramientas para afrontar las amenazas referenciadas.

Podemos observar que la Provincia de Mendoza se encuentra en pleno proceso de segregación residencial, en donde se identifica una clara urbanización de la pobreza. Estos lugares se ven afectados por la presencia de riesgos naturales significativos, escenario que profundiza el alejamiento de clases, generando a su vez una estigmatización de estos espacios físicos (asignado para gente “pobre”).

BIBLIOGRAFÍA

Bravo, Valeria; Silvestrini, Elena; Laudecina, Romina; Cisneros, Hector; Lopez, Silvina; Donaire, Gabriela; Torres, Jorge; Capellozza, Yesica; Torres, Paola; Fermani Marambio, Sebastian y Castillo, Melisa: 2011. ZONIFICACION DEL RIESGO DE LICUEFACCION ASOCIADO A SISMICIDAD EN EL AREA NORTE DE LA PROVINCIA DE MENDOZA. Actas E-ICES 7 Malargue

- Boltvinik, Julio, s/d. Métodos de medición de la pobreza. Conceptos y tipología.
- Castillo, Melisa, Fermani Marambio, Sebastian; Torres, Paola; Cisneros, Hector; Donaire, Gabriela; Laudecina, Romina; Capellozza, Yesica; Bravo, Valeria; Silvestrini, Elena; Lopez, Silvina y Torres, Jorge: 2011. MARCO NORMATIVO ASOCIADO A LA PREVENCION Y MITIGACION DE RIESGOS NATURALES DE ORIGEN GEOLOGICO CON INCIDENCIA EN EL AREA METROPOLITANA DE MENDOZA. Actas E-ICES 7 Malargue.
- Cisneros, Hector; Coria, Melisa; Delamarre, Jose; Bravo, Valeria; Capellozza, Yesica; Castillo, Melisa; Donaire, Gabriela; Fermani, Sebastian; Lopez, Silvina; Silvestrini, Elena, Torres, Jorge; Torres, Paola; Carbajosa, Graciela y Monardez, Daniel, 2011. GESTION DE RIESGOS NATURALES EN EL GRAN MENDOZA. Enviada para su publicacion a revista



COMPROMISO AMBIENTAL. Universidad de Congreso. Mendoza

- Cisneros, Hector; Delamarre, Jose; Coria, Melisa; Torres, Jorge; Laudecina, Romina; Bravo, Valeria; Silvestrini, Elena, Lopez, Silvina; Donaire, Gabriela; Capellozza, Yesica; Torres, Paola; Fermani, Sebastian; Castillo, Melisa; Carbajosa, Graciela y Monardez, Daniel, 2011. RIESGOS NATURALES DE ORIGEN GEOLOGICO EN LA ZONA METROPOLITANA DE MENDOZA: ZONIFICACION Y MAPEO. PROPUESTAS DE GESTION. Actas E-ICES 7 Malargue.
- Cisneros, Hector; Torres, Jorge; Coria, Melisa; Lannutti, Vanina; Carbajosa, Gaciela; Verdaguer, Manuel; Fermani, Sebastian; Molina, Emilia; Castillo, Melisa; Bravo, Valeria. AVANCE DEL PROYECTO DE EVALUACION, ZONIFICACION Y ELABORACION DE PROPUESTAS DE MITIGACION DE LOS RIESGOS NATURALES EN EL AREA METROPOLITANA DE LA CIUDAD DE MENDOZA. Encuentro E-ICES 6 Malargue. Octubre 2010
- Feres, Juan Carlos y Mancero Xavier, 2001. Enfoques para la medición de la pobreza. Breve revisión de la literatura. Estudios estadísticos y prospectivos. Serie 4. División de estadística y proyecciones económicas. CEPAL
- Feres, Juan Carlos y Mancero Xavier, 2001. El método de las necesidades básicas insatisfechas (NBI) y sus aplicaciones en América Latina. Estudios estadísticos y prospectivos. Serie 4. División de estadística y proyecciones económicas. CEPAL
- Fermani Marambio, Sebastian; Cisneros, Hector; Coria, Melisa; Torres, Jorge; Verdaguer, Manuel; Castillo, Melisa; Bravo, Valeria, 2011, RIESGOS NATURALES DE ORIGEN GEOLOGICO EN LA ZONA METROPOLITANA DE MENDOZA: ZONIFICACION Y MAPEO UTILIZANDO HERRAMIENTAS DE TELEDETECCION Y SISTEMAS DE INFORMACION GEOGRAFICO. XII Congreso Nacional De Cartografía. Actas. Buenos Aires
- Filgueira, Carlos, 2001. ESTRUCTURA DE OPORTUNIDADES Y VULNERABILIDAD SOCIAL. APROXIMACIONES CONCEPTUALES RECIENTES. Seminario Internacional. Las diferentes expresiones de la vulnerabilidad social en América Latina y El Caribe. CEPAL.
- Programa de las Naciones Unidas Para el Desarrollo, 2009. APORTES PARA EL DESARROLLO HUMANO EN ARGENTINA/2009. SEGREGACIÓN RESIDENCIAL EN ARGENTINA.
- Kaztman, Rubén, 2001. SEDUCIDOS Y ABANDONADOS: EL AISLAMIENTO DE LOS POBRES URBANOS. Revista de la CEPAL 75.
- Lentini et al. 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.
- López, Néstor, s/d. EQUIDAD EDUCATIVA Y DESIGUALDAD SOCIAL. DESAFÍOS DE LA EDUCACIÓN EN EL NUEVO ESCENARIO LATINOAMERICANO. Instituto Internacional de Planeamiento de la Educación. UNESCO
- Svampa, M. 2001. LOS QUE GANARON: LA VIDA EN LOS COUNTRIES Y BARRIOS PRIVADOS. Biblos, Buenos Aires.
- Sorj, Bernardo y Danilo Martuccelli. 2008. EL DESAFÍO LATINOAMERICANO: COHESIÓN SOCIAL Y DEMOCRACIA. Buenos Aires, Siglo XXI Iberoamericana.



Las investigaciones de la red museal Pangea. Nuevos descubrimientos paleontológicos y geoquímicos en el yacimiento de dinosaurios del Valle de los Titanos (El Cuy, Río Negro)

Franco Finotti¹, A. M. Fioretti², Walter Landini³, Arnaldo Tonelli¹, Fabiana Zandonai¹

¹Fundación Museo Cívico de Rovereto (Trento), Italia

²CNR - Instituto de Geociencias y Georecursos, Sección de Padua, Italia

³Museo de Historia Natural y del Territorio, Universidad de Pisa, Italia

finottifranco@museocivico.rovereto.tn.it

RESUMEN

La Red de los Museos naturalísticos italianos Pangea comenzó la investigación paleontológica en el sector norte del Valle de El Cuy (Río Negro) en el año 2006. Fue descubierto, en la parte superior de la Formación Anacleto (Santoniano - Campaniano), un nivel caracterizado por una fuerte concentración de esqueletos de titanosaurios, que preliminarmente se pueden atribuir al género *Laplatasaurus*. Se ha presentado la documentación de estas investigaciones (paleontológica y geofísica) en los Congresos ICES (2008; 2009 y 2010), en el Congreso “La Investigación en el Museo” (Landini et alii, por imprimir) y en un trabajo de tesis.

La abundancia, el estado de conservación y las condiciones del yacimiento de los hallazgos han permitido suponer que la causa de la presencia de un gran número de ejemplares de fósiles es una calamidad debida probablemente a una repentina inundación de la cuenca imbrífera.

El objetivo de las investigaciones realizadas hasta ahora ha sido doble: por un lado describir y documentar lo mejor posible el patrimonio paleontológico, por otro lado verificar si la presencia de varios fósiles pueda ser interpretada como la primera fosilización de un grupo de Titanosaurios. A fin de documentar estas hipótesis se han tomado muchas muestras del nivel fosilífero a lo largo del frente de afloramiento, y se ha iniciado una primera investigación estratigráfica y geoquímica.

Se presentan aquí los resultados preliminares de las análisis difractométricas de los polvos, de las análisis químicas en espectrofotometría ICP (Inductively Coupled Plasma), y otras consideraciones mineralógicas deducidas por el estudio de las secciones sutiles y por la espectroscopía infrarroja. Los autores quieren presentar el estado de los trabajos, los resultados obtenidos y los nuevos objetivos de Pangea.



Parole-chiave: Pangea, Argentina, Patagonia, dinosaurios, investigación paleoambiental, análisis geoquímico.

INTRODUCCIÓN

PANGEA es una red museal que trabaja para la promoción de la investigación, la salvaguarda del patrimonio y el desarrollo de nuevas tecnologías en el área científica y para la divulgación de los resultados de estudio. Desde el 2006 PANGEA ha organizado muchas campañas de estudio en Argentina ([1]; [2]; [3]), en un área del Departamento de El Cuy (Provincia de Río Negro), Fig. 1, que se nombró luego “Valle de los Titanos” por su riqueza paleontológica y “Pompei de los Dinosaurios” por la concentración de huesos de animales muertos en ocasión de una catástrofe natural (probablemente inundación).

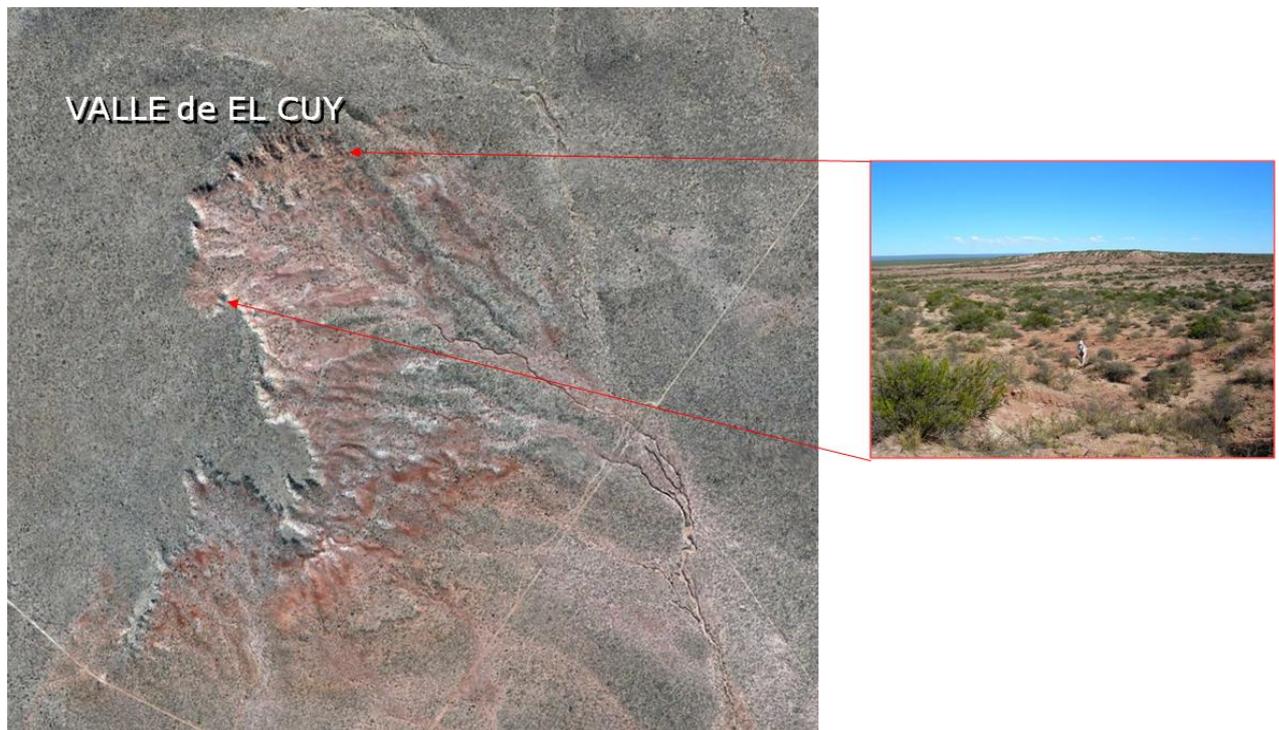


Fig. 1. La localización del área de estudio en Argentina en el norte del Valle de El Cuy (extracto modificado desde Google Earth) y una imagen de la zona de interés, un anfiteatro natural formado en rocas sedimentarias principalmente rojizas.

Después del descubrimiento, en el 2006, del rico yacimiento de huesos dinosaurianos, atribuibles a la parte superior de la Formación Anacleto (Campaniano-Santoniano), el estudio nunca ha parado. Sigue la investigación de nuevos elementos, desde el estudio preliminar hasta el estudio paleontológico de los hallazgos y la reconstrucción paleoambiental y litoestratigráfica del sitio. Todo esto está soportado por análisis de geofísica, geoquímica y mineralogía. La sedimentitas de la Fm. Anacleto denotan haber sido depositadas en un ambiente fluvial de bajo gradiente. De la misma manera la presencia de ostracodes y cariofita revela la existencia de cuerpos lacustres en tramos superiores de la unidad.

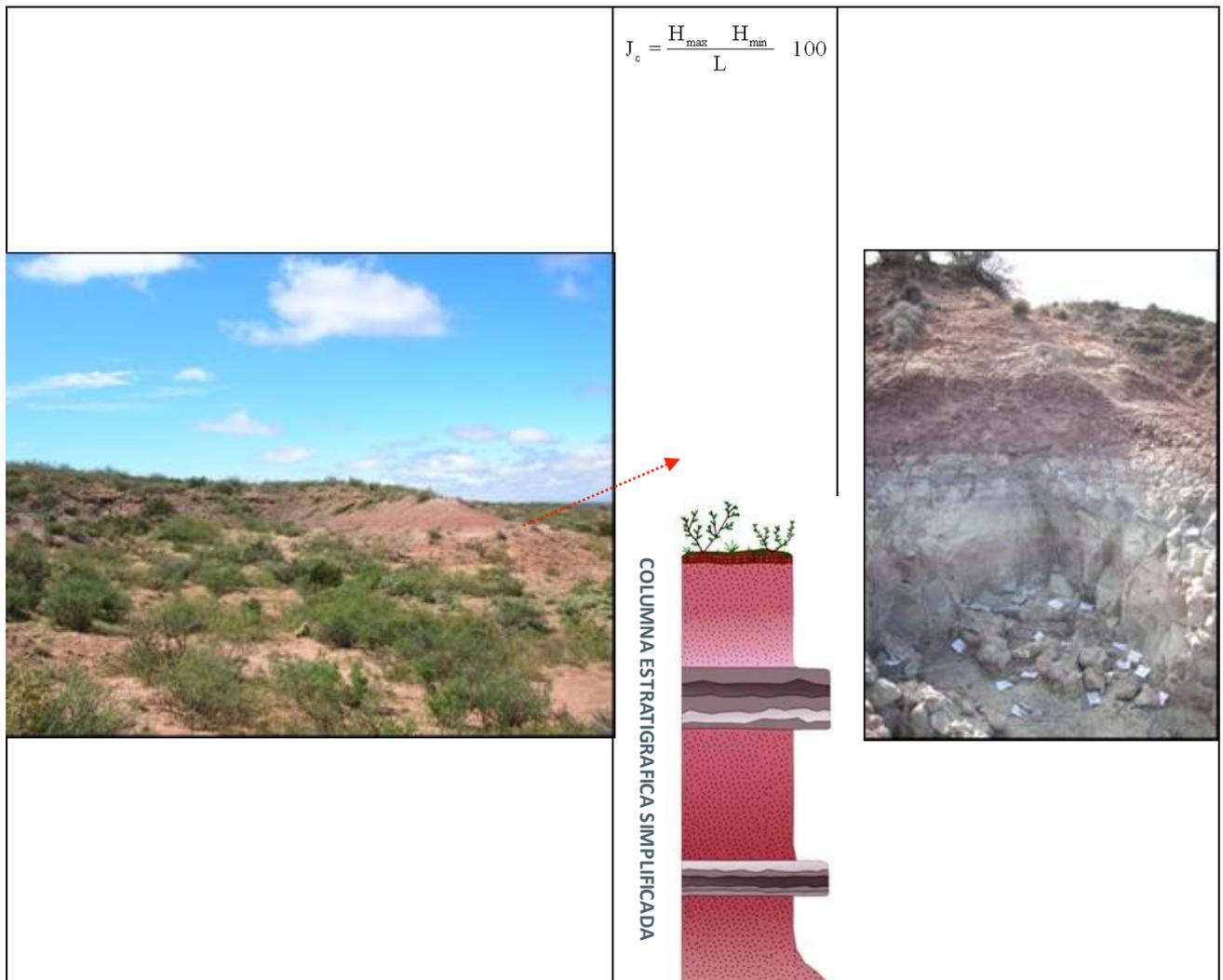


Fig. 2. Imagen del frente fosilífero (izquierda) donde se reconoce la posición de uno de los niveles fosilíferos, marcado en la columna estratigráfica (centro) y bien expuesto en la imagen de un sitio de excavación (derecha). La Formación Anacleto está constituida esencialmente por sedimentitas que se distinguen por una intensa tonalidad morado-rojiza. Algunos niveles de caliza concrecional, de coloración rosada o gris, alternan con estas fangolitas, y confieren al conjunto un típico aspecto bandeado.

En particular, los más interesantes son los huesos que no han sido fluitados y todavía están en la posición original (auctóctonos). Estos huesos en posición primaria están situados sobre todo en la base de un nivel gris arenoso - pelítico (Fig. 2). La buena conservación de los huesos de dinosaurios saurópodos herbívoros de la familia de los Titanosaurios, y su abundancia, permiten plantear la hipótesis de la existencia de un abundante depósito fósil [1].

Hasta el año 2010 se han realizado tres campañas de excavación que permitieron la recolección de varios huesos pertenecientes por lo menos a cuatro diferentes esqueletos de Titanosaurios, en cuatro sitios diferentes (los más importantes de los numerosos identificados) (Fig. 2), a lo largo de la parte frontal del nivel fósil principal (sobre 150 m).

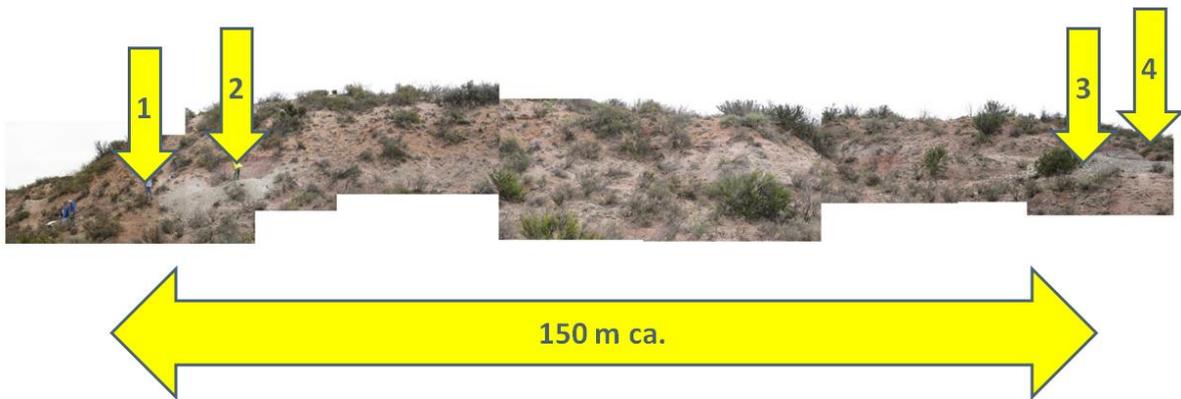


Fig. 3. Vista frontal del frente fosilífero con la posición de los cuatro sitios más relevantes.

El más relevante de los sitios estudiados es el número 2 (Fig. 3), que ha aportado el mayor número de huesos expuestos en un excelente estado de conservación (Fig. 4).



Fig. 4. Vista de los materiales descubiertos en el sitio 2.

Actualmente se están restaurando los fósiles hasta ahora recogidos, almacenados en el Museo Patagónico de Ciencias Naturales de General Roca. Fue posible realizar un estudio fotogramétrico de algunos, del que derivan los modelos digitales tridimensionales (Fig. 5) utilizados para un primer estudio sistemático y para facilitar el intercambio de datos con otros investigadores [3].



Fig. 5. Vistas de dos huesos (respectivamente L-88 y L-6) excavados en la "Pompei de los dinosaurios", y reconstruidos en tres dimensiones [4].

Los modelos digitales tridimensionales de ciertos restos óseos más significativos fueron identificados como pertenecientes a una familia de Titanosauridae saurópodos provisionalmente atribuidos al género *Laplatasaurus*. Estos dinosaurios alcanzaron una longitud de 20 metros y un peso de 25 toneladas. El cuerpo era bastante masivo con cuello y cola largos, también tenía placas dérmicas en el cuerpo.

Las etapas de estudio de la pompei de los dinosaurios

En los últimos años la Red Pangea ha trabajado en muchas direcciones haciendo un estudio articulado del Valle de El Cuy a través de fases de profundización sucesivas: desde la investigación geológico - paleontológica y geofísica de detalle del frente de la meseta al relieve topográfico del conjunto (Fig. 6), desde la recogida de datos fotogramétricos a la reconstrucción y exposición de modelos 3D para la divulgación de los resultados de las investigaciones (Fig. 7).

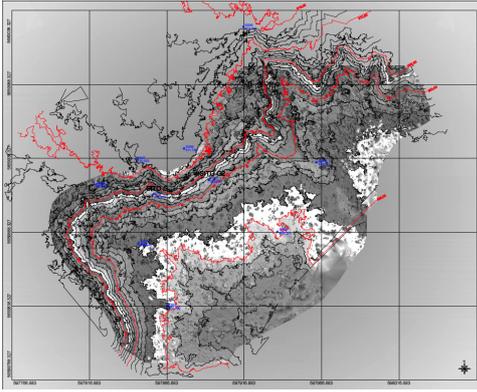


Fig. 6. Base cartográfica 1:5.000 resultado del levantamiento topográfico (por Sat Survey, Venezia) durante la campaña del estudio 2010.

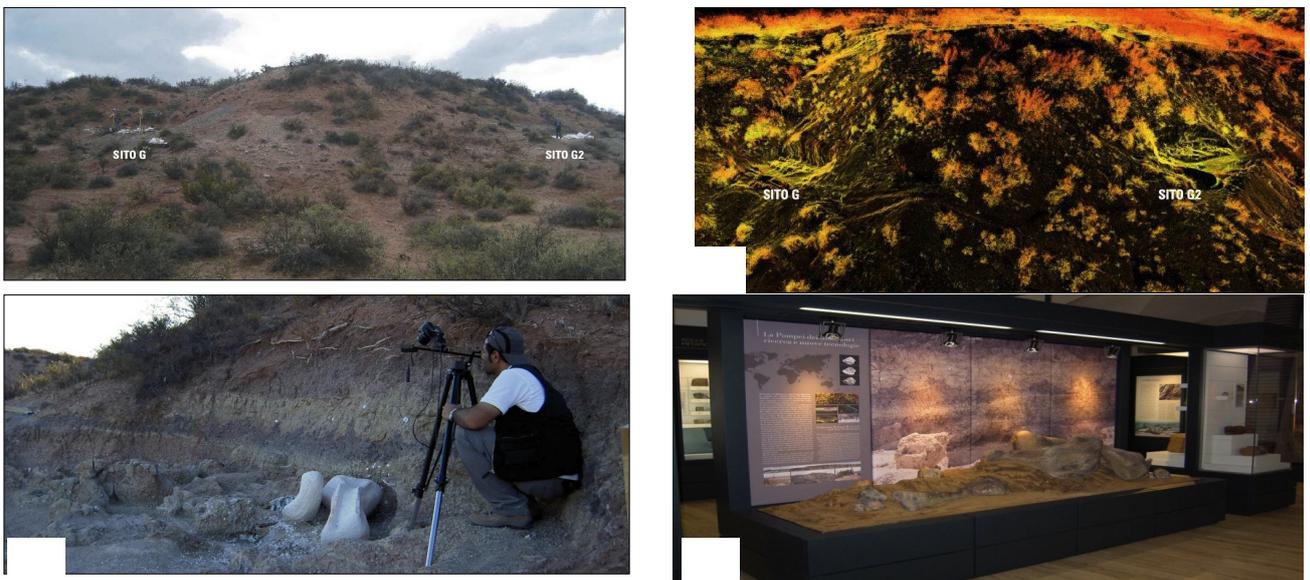


Fig. 7. a) El frente con dos interesantes sitios de excavación; b) los mismos sitios relevados con tecnología Láser escáner (por Sat Survey, Venezia) para el modelo digital del terreno. c) Fase de rodaje con técnica fotogramétrica digital de uno de los dos sitios en a), para fijar y reconstruir en detalle los caracteres litostratigráficos y el contenido paleontológico. d) reconstrucción en escala 1:1 de restos óseos - del mismo sitio de c) - exhiben en las salas dedicadas a Las Ciencias de la Tierra del Museo Cívico de Rovereto.

Se han utilizado y procesado también imágenes de sensores remotos (Google Earth y de satélite, SAR) para obtener información general acerca de la situación local (Fig. 8 y 9). En particular es posible, combinando adecuadamente la información dada por las imágenes, dividir el área en subclases con distinto comportamiento. Esto podría ser interesante no sólo para las correlaciones paleontológicas, sino también para las evaluaciones ambientales.

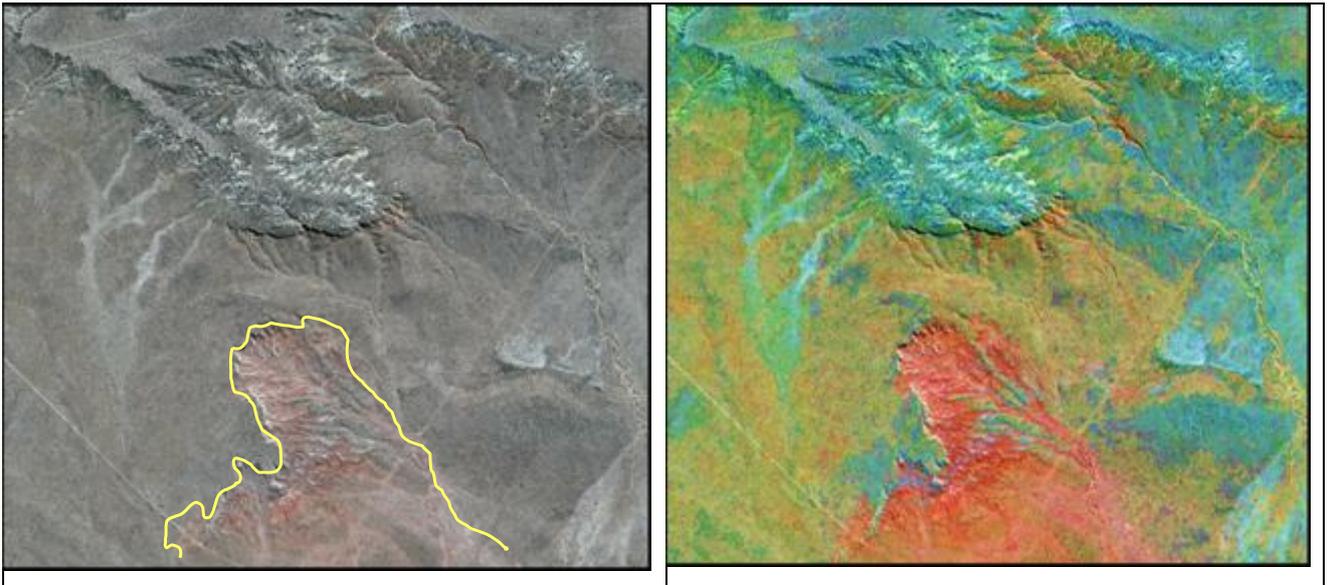


Fig. 8. A la izquierda: esta imagen de colores - la línea amarilla delimita la zona de interés - es el resultado del montaje (por A. Tonelli) de 25 tomas obtenidas con resolución muy alta (que corresponde a 2000 metros de altitud) de la foto disponible en la plataforma Google Earth. A la derecha: aquí la misma imagen ha sido elaborada in falsos colores, con un procedimiento típico del análisis de sensoriamiento remoto: descomposición del dato en HLS (Hue; Lightness; Saturation); elevación de S como logaritmo ($\ln S$) y representación final como síntesis de H, L y $\ln S$. El resultado permite evidenciar la diferente respuesta de los terrenos en afloramiento (primer subsuelo), señalando de manera eficaz el área de interés.

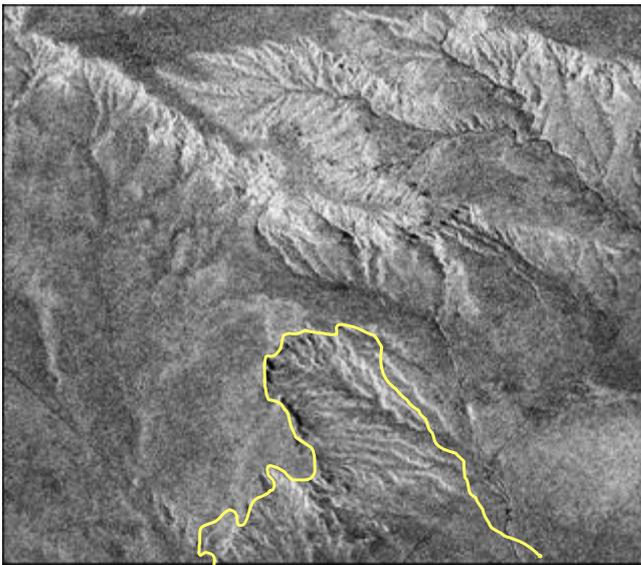


Fig. 9. Extracto de imagen SAR (Synthetic Aperture Radar), satélite SKYMED (concedida gentilmente por la Agencia Espacial Italiana gracias a la colaboración con el Museo Civico de Rovereto). Campo de la constante dieléctrica con intensidad en escala de grises. La imagen proporciona in primis indicaciones importantes sobre el contenido de agua en el primer subsuelo.

La novedad de la campaña de 2012

Las investigaciones de 2006 a 2011 interesan un frente fosilífero amplio 150 m. En 2012 las fuertes precipitaciones han sacado a la luz nuevos descubrimientos a lo largo del nivel fosilífero, así el frente de interés tiene ahora una extensión de más de 1000 metros (Fig. 10).

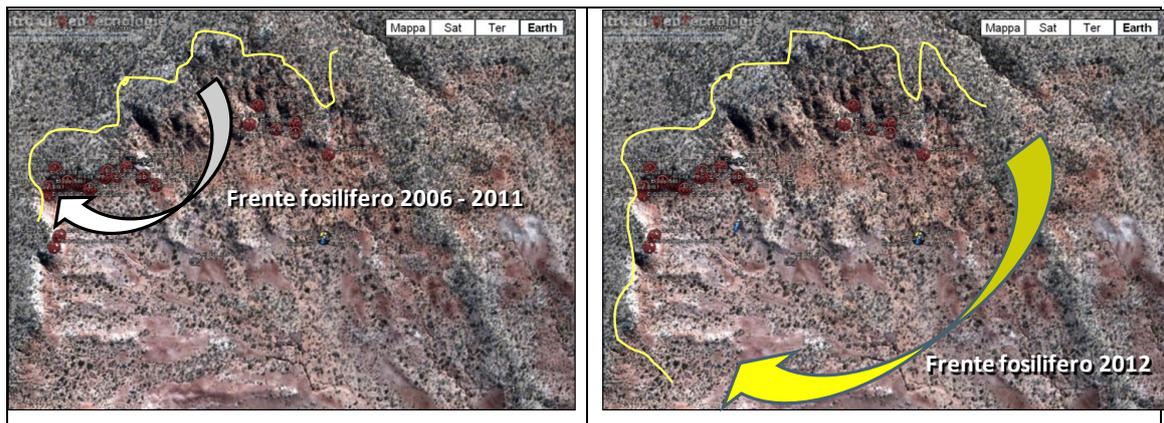


Fig. 10. Comparación entre el frente fosilifero 2006 -2011 (izquierda) y el nuevo frente fosilifero 2012 (derecha).

Los objetivos de caracterizar el nivel fosilífero de un frente tan amplio y buscar respuestas a las hipótesis paleoambientales sobre la formación del yacimiento se han alcanzado tomando muchas muestras para hacer el análisis estratigráfica y geoquímica.

Se han individuado en total, a lo largo del nuevo frente fosilífero, 28 sitios con restos de fósiles en superficie (incluido los registrados en las campañas anteriores) y atribuibles al mismo horizonte estratigráfico. Se han recogido 35 muestras para los análisis geoquímicas (Fig. 10). Se han tomado en sucesión lineal a lo largo de toda la superficie de afloramiento del nivel fosilífero, tanto en la porción estéril en superficie como en la porción fosilífera.

Se han tomado muestras también en sucesión vertical, cerca de los cuatro sitios principales objeto de las actividades de excavación anteriores. En relación con la posición del cuerpo fosilífero han sido tomadas abajo, cerca y arriba, y al pasaje al nivel estratigráfico sucesivo. El objetivo es individuar posibles *marker* geoquímicos significativos en relación con la presencia o falta de restos óseos.

Resumiendo lo que se ha encontrado en esta área, tenemos:

Longitud frente: más de 1000 m

N sitios con hallazgos fósiles: 28

N sitios con materiales en posición primaria: 10

N sitios con materiales fluitados: 18

N sitios con hallazgos relevantes: 5

N géneros identificados: 1

Sitios estudiados para análisis geoquímicas: 35

Muestras recogidas (según criterio estratigráfico): 55

Sitios caracterizados: 16



La reconstrucción de la sucesión litoestratigráfica y el análisis geoquímicos del sitio paleontológico P

Aunque los análisis se están todavía desarrollando, hay resultados significativos de las muestras sacadas en uno de los sitios (sitio P), que tiene en la base un nivel fosilífero rico en huesos en buen estado de conservación. Se han sacado muestras de toda la sucesión litoestratigráfica y se ha realizado la sección delgada de las unidades litológicas individuadas, para hacer un estudio minero-petrográfico de detalle.

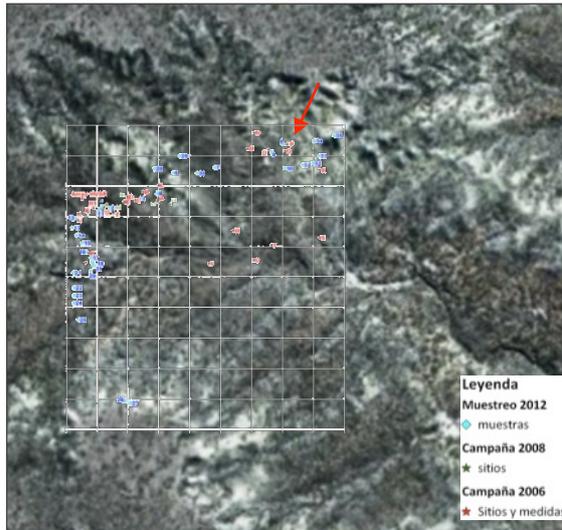


Fig. 11. Distribución de los sitios descubiertos entre 2006 y 2011 (en rojo), y de los puntos de muestreo 2012 (en azul) a lo largo de la parte frontal de la meseta (imagen de Google Earth). Se indica con una flecha roja el sitio P.

La serie estratigráfica está caracterizada por una sucesión de arenas de silicatos con matriz carbonática, rojizas e intensamente estratificadas menos que algún estrato más fuerte (max 0.1 m), mientras a la base se encuentra un nivel más claro, arcilloso y fosilífero (Fig. 12).

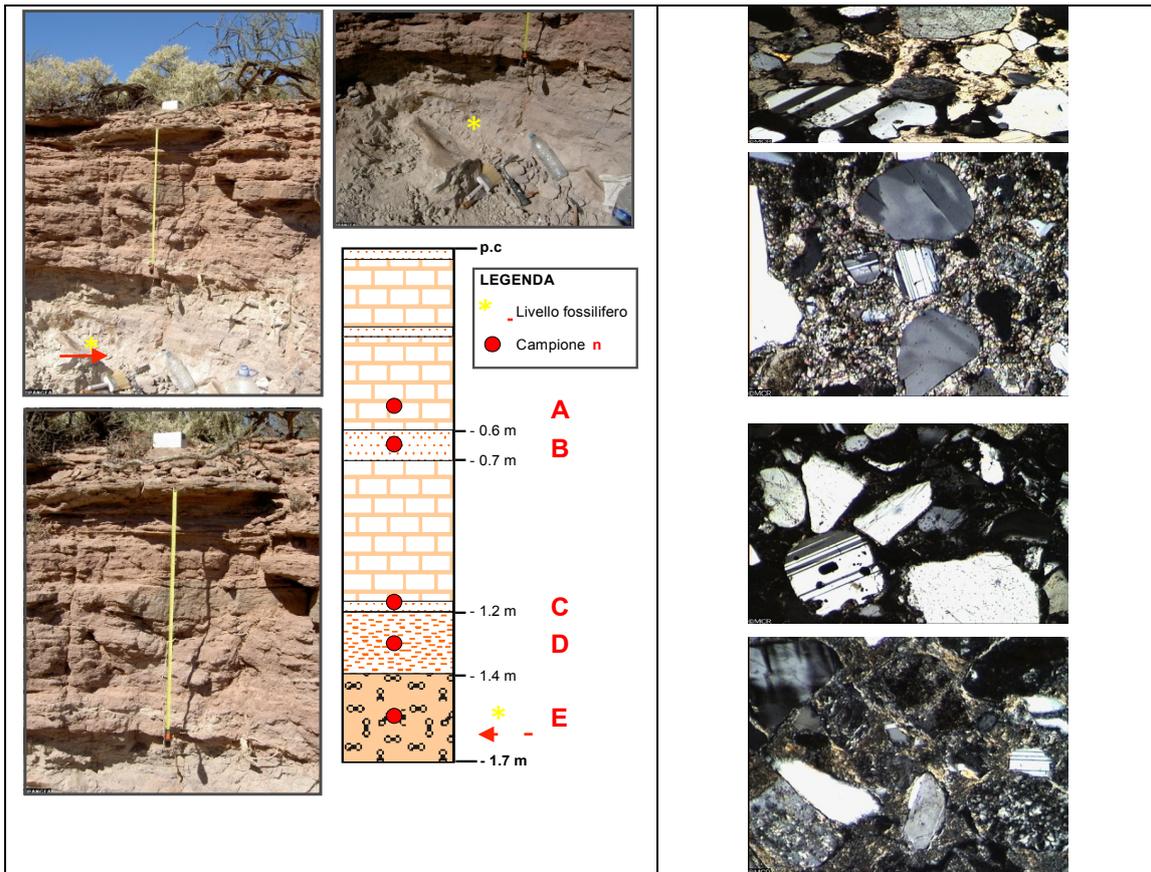


Fig. 12. A la izquierda, algunas imágenes del sitio P y lateralmente la reconstrucción de la columna litoestratigráficas con indicación de los puntos de muestreo y el nivel fosilífero en la base. A la derecha, algunas imágenes (con nicoles cruzados, aumento de 10x) de las secciones delgadas de las muestras A, B, C y D.

En todas las secciones se observa un sedimento poco seleccionado con componentes sanos, no alterados y con diversos grados de redondeo (los gránulos son de muy redondeado a angular). Los gránulos están constituidos por cuarzo y feldespato, inmersos en una matriz de carbonato. Además hay accesorios minerales opacos. Las secciones desde el punto de vista petrográfico pueden ser caracterizadas como areniscas silicáticas a matriz de carbonato.

Las secciones delgadas de las muestras A, B, C y D (Fig. 12, a la derecha) son estériles desde el punto de vista del contenido fósil, mientras en la sección delgada de la muestra E se notan los pequeños fragmentos de huesos con las estructuras fibrosas y los gránulos con un fuerte nivel de redondeo (Fig. 13).

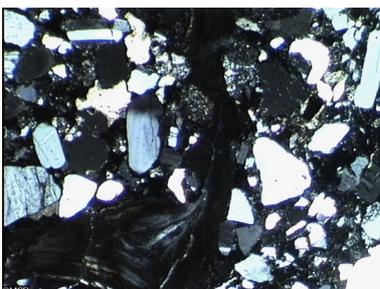


Fig. 13. Imagen (con nicoles cruzados, aumento de 10x) de la sección delgada de la muestra E.



El análisis geoquímico en el sitio P

Dada la presencia no constante de fragmentos óseos dentro de los niveles estratigráficos que constituyen la sección P, se pensó que podría ser interesante verificar la presencia de un mineral, potencialmente diagnóstico, como la apatita y examinar como cambia en la secuencia estratigráfica del sitio P. Hay que decir que en algunos casos favorables es posible distinguir la apatita de las rocas de la apatita que constituye los huesos. Esta última presenta generalmente picos de difracción más amplios y menos profundos. Por esta razón pequeñas cantidades de hueso en una muestra de roca poliminerálica (que corresponde a un difractograma con numerosos picos de diferentes fases minerales) son más difíciles de identificar respecto a las mismas cantidades de apatita mineral.

Una cuestión es si este mineral podría ser un útil dino-indicador en el ambiente sedimentario de “La Pompei de los dinosaurios”. Se han realizado por tanto análisis por difracción de Rayos X y por espectrofotometría ICP (Inductively Coupled Plasma).

Análisis por difracción de Rayos X

Se ha hecho un análisis de fragmentos molidos de las muestras A, B, C, D y E. Se muestran como ejemplo dos de los difractogramas obtenidos (Fig. 14 y 15).

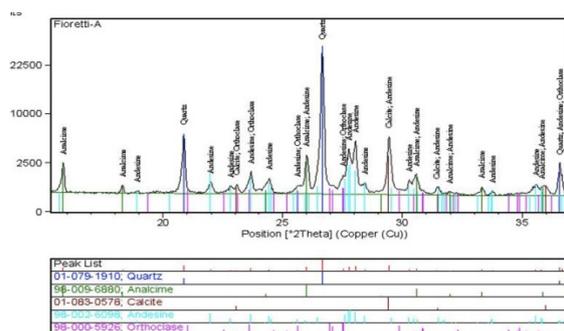


Fig. 14. Difractograma de la muestra A. Las fases mineralógicas principales están: Cuarzo, Analcima, Calcita, Plagioclasa andesínico, Ortoclasa.

La apatita está presente solo en la muestra E (Fig. 15). El pico de la apatita es bastante amplio, eso indica que se trata de una fase microcristalina.

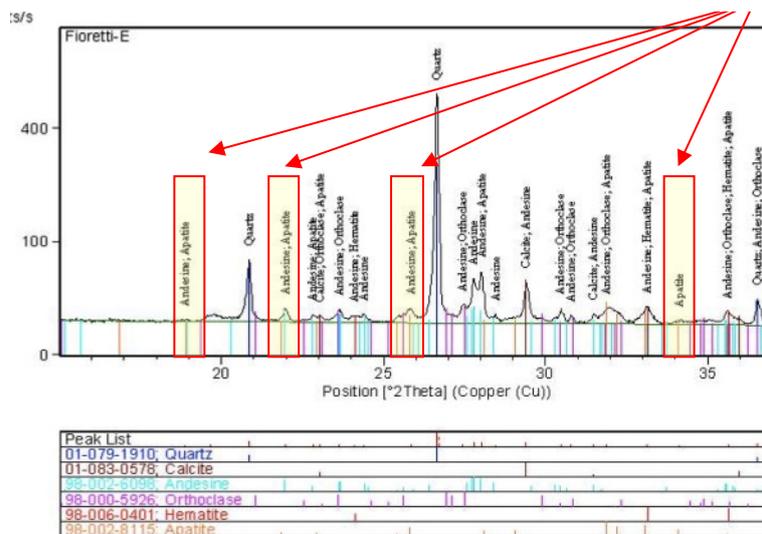


Fig. 15. Difractograma de la muestra E. Las fases mineralógicas principales son: Cuarzo, Calcita, Plagioclasa andesínico, Ortoclasa. Trazas de Ematita y Apatita. Con los cuadros y las flechas rojas se indican los picos de apatita.

Análisis por espectrofotometría ICP (Inductively Coupled Plasma)

Se ha hecho un análisis de porciones de las mismas muestras para medir el contenido total de fósforo. Abajo se indican los resultados obtenidos con las cinco muestras (Tab. 1). El análisis químico muestra una diferencia significativa del contenido de P_2O_5 entre el grupo de muestras de los niveles estériles A, B, C, D y la muestra E perteneciente al nivel fosilífero. El elevado contenido es coherente con la presencia de apatita solo en la muestra E indicada por el análisis difractométrico.

	A	B	C	D	E
SiO ₂	72.74	53.80	66.24	69.08	55.63
TiO ₂	0.23	0.20	0.37	0.40	0.21
Al ₂ O ₃	11.11	9.22	11.63	12.15	6.28
Fe ₂ O ₃	1.35	1.30	1.95	2.95	4.22
MnO	0.11	0.29	0.09	0.19	0.24
MgO	0.34	0.55	0.66	1.48	0.79
CaO	8.12	19.88	5.77	2.92	10.79
P ₂ O ₅	0.07	0.08	0.14	0.22	3.77
Na ₂ O	3.33	2.23	2.84	2.59	1.59
K ₂ O	1.27	1.30	1.52	1.93	0.97
LOI ^(*)	nd	nd	nd	nd	11.45
Tot	98.67	88.84	91.21	93.92	95.93

(*) Loss on ignition

Tab. 1. Resultados de los análisis por espectrofotometría ICP.



Consideraciones geoquímicas

La recogida de muestras de detalle a lo largo del frente de la meseta, que interesa tanto los niveles fosilíferos como los niveles estériles, sirve para determinar la distribución geoquímica del fósforo, elemento contenido en el mineral apatita $[\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{F}, \text{OH}, \text{Cl})_2]$.

Este mineral está presente en naturaleza tanto como componente accesorio de muchas rocas y como constituyente inorgánico fundamental de huesos y dientes (Hidroxiapatita, $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$). Durante la diagénesis post-mortem, la bioapatita puede ser objeto de enriquecimiento y/o agotamiento selectivo de algunos de los componentes químicos. Sin embargo, en un estudio de 13 muestras de huesos de dinosaurios del Cretácico y del Jurásico, Goodwin et al. (2007) [5] han observado que el calcio y el fósforo son los principales constituyentes de los huesos y que la recristalización post-mortem puede conducir incluso, en los casos en que hay disponibilidad, a un aumento de estos dos elementos en los huesos diagenizados.

De hecho se piensa que estudiar la distribución de la apatita y en particular el contenido de fósforo (P_2O_5) en el nivel paleontológico pueda ser un importante indicador para discriminar la dimensión del área paleontológica y comprender si es compatible con la fosilización de una manada de dinosaurios.

CONCLUSIONES

La disposición de los huesos, el estado de conservación y la fuerte concentración a lo largo del frente fosilífero indican la presencia en el depósito de un gran número de ejemplares, probablemente una manada de Titanosaurios sepultados por un imprevisto episodio de inundación. El estudio preliminar de algunos modelos digitales de huesos ha permitido atribuir los descubrimientos al género *Laplatasaurus* sp.

En el año 2012 Pangea ha iniciado una primera investigación estratigráfica sistemática en el Valle de El Cuy para una mejor comprensión de las características y el desarrollo espacial del nivel fosilífero.

Las investigaciones de campaña conducidas en marzo del 2012 han permitido extender el frente fosilífero desde 150 hasta más de 1000 metros. Los resultados recogidos - geoquímicos y paleontológicos - son estimulantes para un futuro estudio del sitio en toda su extensión.

Datos significativos, útiles para la reconstrucción paleoambiental del nivel fosilífero, se consiguen también por el estudio de la distribución y del tipo de los minerales en forma de gránulos. Los resultados de las análisis geoquímicas y con difracción tendrán que ser confirmados a gran escala, para verificar si estas análisis puedan constituir un método adecuado a delimitar la extensión del área fosilífera y a comprender su génesis. De momento se están estudiando alrededor de treinta muestras.



REFERENCIAS

- [1] Finotti F. Landini W., 2009. “Las investigaciones de la red museal Pangea: desde el descubrimiento del “Valle de los titanos” hasta el control y valorización del territorio (El Cuy, Río Negro)”, Actas E-ICES 4. Encuentro Internacional del ICES (2008).
- [2] Finotti F. Landini W. E Zandonai F., 2010. “Enfoque multitemporal para la indagación y la valorización geo-ambiental de la Pompei de los dinosaurios “Valle de los Titanos” (El Cuy, Río Negro)”, Actas E-ICES 5. Encuentro Internacional del ICES (2009), 99-104.
- [3] Finotti F. Landini W., Zandonai F., Zen E., 2011. “Las investigaciones de la Red Museal Pangea. La Red Pangea en el “Valle de los Titanos”: desde la modelación 3D al Atlas de los Dinosaurios online”, Actas E-ICES 6. Encuentro Internacional del ICES (2010).
- [4] Foffa D., 2010. “Titanosauro del Cretaceo Superiore della valle di El Cuy (Dipartimento di General Roca, Provincia di Río Negro, Argentina), analisi sistematica e modellazione 3D”. Tesi di Laurea di I° Livello. Università di Pisa, Facoltà di Scienze Matematiche, Fisiche e Naturali, Corso di Laurea in Scienze Geologiche.
- [5] Goodwin M. B., Grant P.G., Bench G., and Holroyd P.A. (2007) Elemental composition and diagenetic alteration of dinosaur bone: Distinguishing micron-scale spatial and compositional heterogeneity using PIXE. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 253: 458-476.



Estudios de contaminación antropogénica en la Base Marambio (Antártida) utilizando métodos de magnetismo ambiental y geoestadística

Gargiulo, José D. (1); Chaparro, Marcos A.E. (1, 2)

(1) Instituto de Física Arroyo Seco (UNCPBA), CONICET, Pinto 399, Tandil (7000), Argentina.

(2) Centro de Geociencias (UNAM), Blvd. Juriquilla 3001, Juriquilla (76230), Querétaro, México.

Gargiulo@exa.unicen.edu.ar

RESUMEN

Se presentan resultados de susceptibilidad magnética (x) realizados sobre suelos de la Base Marambio y áreas próximas. Los estudios de magnetismo ambiental son cada vez más difundidos en el mundo dado sus particulares ventajas en tiempo y costo; dichos estudios permiten realizar monitoreos preliminares antes de aplicar técnicas convencionales. Los suelos antárticos resultan de particular interés para la evaluación de estas técnicas de estudio de contaminación dada la escasa cantidad de fuentes de contaminación, lo que lleva a una asociación más directa entre los resultados de las mediciones y las características de las fuentes que se dan en el sitio, comparados con estudios en regiones urbanas. En particular, la x ha sido reconocida por diferentes autores como el parámetro que mejor se relaciona con determinaciones de metales pesados de origen antropogénico en análisis de contaminación ambiental. En esta contribución, continuando trabajos preliminares (Chaparro et al. 2007, Antarctic Science 19(3), 379-393), se estudia la distribución espacial de la x con el objetivo de describir geoestadísticamente (magnitud y extensión) la influencia de la actividad humana en el área de estudio. Un total de 278 muestras superficiales de suelos han sido recogidas desde 2004 en el marco de distintas campañas antárticas de verano (CAV). En el laboratorio, se prepararon las muestras y se midió la x entre otros parámetros magnéticos. Se encontraron diferencias estadísticamente significativas en la x entre sitios de control ($\langle x_c \rangle = 14.1 \times 10^{-8} \text{ m}^3/\text{kg}$, máximo de $19.7 \times 10^{-8} \text{ m}^3/\text{kg}$) y con actividad antropogénica ($\langle x \rangle = 31.7 \times 10^{-8} \text{ m}^3/\text{kg}$, máximo de $615.9 \times 10^{-8} \text{ m}^3/\text{kg}$), confirmando la efectividad del método para la evaluación de la contaminación. Los variogramas obtenidos permiten visualizar una buena dependencia espacial de la x , con lo que se obtuvieron varios mapas de kriging. Estos mapas muestran el área de influencia de las fuentes de contaminación en este sitio de interés.

INTRODUCCIÓN

Los estudios de contaminación ambiental están tomando cada vez más importancia, resulta notable como los aspectos medioambientales han trascendido y son considerados con más frecuencia en casi todas las disciplinas de las ciencias. Es indudable que los efectos de la contaminación ambiental están íntimamente ligados a la ocurrencia de enfermedades, por lo que el desarrollo de herramientas para su evaluación resulta de particular importancia para la



protección de la salud humana y del medio ambiente en general. Es en este sentido que diferentes técnicas han sido y siguen siendo desarrolladas con el objetivo de evaluar el grado de impacto que tiene la propia actividad humana sobre el medio ambiente.

En esta contribución, utilizando en conjunto técnicas de magnetismo ambiental y geoestadística nos proponemos evaluar la magnitud y extensión de la contaminación ambiental en regiones próximas a la Estación Marambio, Antártida Argentina. Esta región constituye un excelente escenario para la evaluación de nuevas técnicas de estudio debido a la pequeña área de influencia y el reducido número de fuentes de polución. Los primeros datos de asentamientos humanos en la región Antártica datan de principios de siglo XX, y consecuentemente la actividad antropogénica ha inevitablemente modificado estas áreas y el medioambiente de influencia, principalmente dada la falta de conciencia ambiental en el manejo de residuos sólidos, efluentes líquidos y gaseosos, al menos, hasta el año 1991 donde se constituye el Tratado Antártico para la Protección del Medio Ambiente en el marco del Protocolo de Madrid.

La Estación Marambio (Isla Seymour) fue fundada en Octubre del año 1969, y desde ese momento, ha estado activamente operando. En este sitio se encuentra la pista de aterrizaje más importante de la zona, la que provee un importante soporte logístico para las actividades científicas nacionales e internacionales. Por este motivo, se evidencia una notable intensificación del impacto de las actividades antropogénicas producido en gran medida por la ausencia de adecuadas prácticas de manejos de residuos.

Desarrollo experimental

Estación Marambio (Lat: 64° 14'S; Long: 56° 43'W, Figura 1) está localizada en el NorEste de la Isla Seymour sobre una meseta de 3 km de longitud (N-S) y 1 km de ancho (W-E) a 210 m de altura sobre el nivel del mar [2]. La geografía de la zona se destaca por un suave descenso de altura en la dirección S-E con un reducido número de pequeños barrancos que cortan la superficie sobre el lado Este. Las edificaciones han sido construidas a 1 m de altura de la superficie. En el año 1997, varias algunas de estas edificaciones fueron afectadas por incendios, por lo resultaría necesario considerar la influencia de este hecho sobre las partículas magnéticas presentes en los suelos. Sin embargo, estos suelos se encuentran usualmente cubiertos por hielo y nieve, especialmente en invierno cuando el incendio ocurrió, por lo tanto la influencia de las altas temperaturas sobre los portadores magnéticos es menor.

Las características geológicas del sitios fueron primeramente estudiadas por Andersson en 1906 [3] y más recientemente por Gazdzicki en 2004 [4]. La meseta está cubierta por un depósito glacimarino cuaternario consistente en un conglomerado con clastos de tamaño grava hasta bloques de 3 m³. La litología de estos es muy diversa, es posible encontrar rocas plutónicas, metamórficas, sedimentarias y de origen volcánico de composición basáltica. La



matriz es fundamentalmente areno-limosa, constituida de arenas muy finas y limo-arcillas. En la zona propia a la Estación Marambio se reconocen además suelos congelados o *permafrost*.

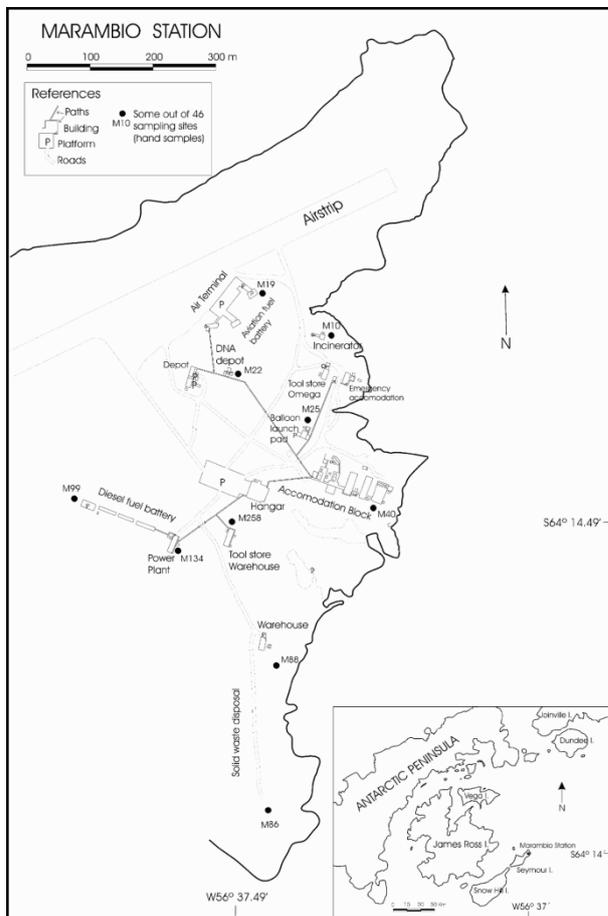


Figura1: área de estudio

Muestreo

El área de estudio involucra suelos en la Estación Marambio (Figura 1) y áreas próximas. El trabajo de campo fue llevado a cabo en dos campañas, Campaña Antártica de Verano (CAV) 2003-2004 y CAV 2004-2005.

En CAV 2003-2004, 46 muestras de suelos superficiales (0-10 cm) fueron colectadas en sitios seleccionados de la Estación Marambio (Sitios M10-M99, Figura 1), y en “áreas prístinas” o sitios de control. Cada muestra fue georeferenciada utilizando GPS, eTrex Vista Garmin Ltd. Cada muestra de suelo (~300 g) fue almacenada en bolsas plásticas en el campo. En el laboratorio, se le sustrajeron a cada muestra pequeños escombros y rocas, para luego ser almacenadas en cajas plásticas de 8 cm³. En estos envases, se consolida la muestra con silicato de sodio para las determinaciones magnéticas.

En CAV 2004-2005, 305 mediciones de susceptibilidad in-situ (K_{is}) fueron obtenidas en la Estación Marambio. Cada sitio fue georeferenciado mediante GPS. Mediciones de K_{is} sobre



varios tipos de rocas (volcánicas, plutónicas, metamórficas y sedimentarias) fueron analizadas y discutidas en [5] para conocer la posible contribución litogénica en estos suelos.

Dentro del área de la Estación Marambio se seleccionaron dos sitios específicos a analizar donde se presume un aporte de contaminantes de características diferenciadas. Por un lado, el sitio denominado la Chacarita, donde a lo largo del tiempo se han depositando restos metálicos en desuso, también denominado chatarra. El otro sitio seleccionado fue el área que comprende la zona de influencia de la Usina, donde según se ha informado, se observan depósitos de cenizas en los alrededores.

Métodos de Magnetismo Ambiental

Comenzando con las investigaciones de Thompson [6] el magnetismo ambiental a tomado desde entonces amplia relevancia en el estudio de fenómenos ambientales mediante la observación de las características magnéticas.

Los estudios magnéticos se desarrollan a partir de un conjunto de técnicas de medición de diferentes parámetros. Mediante el análisis de estos parámetros, relaciones entre ellos y gráficas asociadas, se obtiene información detallada sobre las características de los portadores magnéticos presentes en el blanco de estudio, en cuanto a su concentración, identificación y tamaño de grano. Es importante destacar que las mediciones magnéticas son los suficientemente sensibles para detectar la fracción magnética minoritaria de materiales ferromagnéticos, generalmente en concentraciones menores al 1%. Por otro lado, los estudios magnéticos se caracterizan por ser relativamente rápidos y de muy bajo costo, permitiendo así el estudio de áreas muy extensas y muestreos muy densos. Además, se debe mencionar que el tratamiento y acondicionamiento que se les realiza a las muestras es casi nulo, comparado con por ejemplo determinaciones de metales pesados para estudios con iguales objetivos.

El grado de contaminación de un sitio, se observa estudiando el *aumento magnético*, fenómeno que se debe a la conversión de materiales no-ferrimagnéticos in situ, o a un aporte extra de materiales ferrimagnéticos asociado a actividades antropogénicas. Un ejemplo del aporte antropogénico de partículas magnéticas lo constituyen las cenizas y partículas producidas por la quema de combustibles fósiles. Los trabajos llevados a cabo en suelos por Heller et.al. [7] señalan un aumento magnético fuerte debido a la influencia de partículas magnéticas antropogénicas en los horizontes orgánicos (primeros 5 cm) del suelo. Esta característica fue también encontrada por Kapicka et al. [8]; además, él estudió las características magnéticas y mineralógicas de las cenizas emitidas por centrales de energía, así como, su influencia en suelos mediante un modelado en laboratorio. Minerales semejantes a la magnetita son el producto final en este modelo temporal, para una maghemita inestable original presente en las cenizas. Beckwith et al. [9] obtuvieron distintos resultados en un área



urbana pequeña, identificando la principal fuente de contaminación derivada de la emisión de gases por automotores.

Distintos autores ([10], [11]; [12]; entre otros) han probado la relación entre partículas o portadores magnéticos con elementos tóxicos, dado que los mismos pueden actuar como hospedadores de metales pesados y otros contaminantes. Tal conexión para partículas derivadas de emisiones antropogénicas puede deberse a la incorporación de contaminantes (por ej.: metales pesados) en la estructura cristalina de las partículas de ceniza ricas en Fe (materiales ferri(antiferro)magnéticos generados a partir de minerales de hierro presentes en el combustible fósil durante la combustión), o bien, una incorporación posterior (adsorción) de metales pesados en la superficie de los portadores ferri(antiferro)magnéticos generados por las actividades antropogénicas o presentes en suelos o sedimentos de arroyos. Esta asociación entre portadores magnéticos y metales pesados constituye una de las bases fundamentales para la utilización de métodos magnéticos en estudios de contaminación ambiental. En este sentido, el parámetro por excelencia utilizado para estudios de contaminación ambiental ha sido la susceptibilidad magnética (X). Diversos autores han encontrado una fuerte correlación positiva entre la X y diferentes metales pesados.

En presencia de un campo magnético H se induce una magnetización M en un material. La magnetización M es un efecto macroscópico debido a la contribución microscópica de momentos magnéticos dipolares inducidos y permanentes. La magnetización M se define por:

$$M = \bar{k}.H$$

Siendo k tensor de segundo orden, la susceptibilidad magnética. Si el campo H aplicado es lo suficientemente pequeño ($H < 80$ A/m) y asumiendo un medio sin anisotropías, se puede aproximar la susceptibilidad magnética como $k=M/H$. En este caso k es una cantidad escalar, la susceptibilidad magnética volumétrica, adimensional. Este parámetro es una medida de la facilidad con la que un material se magnetiza, y depende de los minerales magnéticos presentes, su concentración y características.

Mediciones de susceptibilidad fueron llevadas a cabo utilizando un susceptibilímetro MS2, Bartington Instrument Ltd., conectado a 2 sensores: MS2D (para determinaciones de campo) o MS2B (para determinaciones en laboratorio) de frecuencia dual (470 y 4700 Hz). Para las determinaciones in situ, en cada sitio de muestro se realizaron 6 mediciones que luego son promediadas. La susceptibilidad magnética volumétrica (k) y la susceptibilidad específica (x) fueron determinadas en el laboratorio.

Métodos Geoestadísticos

Primeramente se calculó el Índice de Moran (I) para evaluar la autocorrelación espacial de los datos [13]. En resumen, este estadístico evalúa si el patrón espacial hallado está agrupado,



disperso o aleatorio. Un conjunto de valores agrupado significa que valores altos de una variable tienden a mantenerse espacialmente cercanos a valores altos, o viceversa, valores bajos se mantiene cercanos a valores bajos. En ambos casos se tiene una autocorrelación positiva, y el valor numérico del Índice de Moran tiende a 1. Cuando valores altos de una variable se mantiene espacialmente cercanos a valores bajos de la misma variable, la autocorrelación se denomina negativa, y el valor del índice tiende a -1. Un valor de Índice de Moran cercano a 0, significa un patrón aleatorio de los datos geoestadísticos. La expresión analítica para calcular el índice esta dada por:

$$I = \frac{(n) \left(\sum_{i,j=1}^n w_{ij} z_i z_j \right)}{(S_0) \left(\sum_{i=1}^n z_i^2 \right)}$$

$$S_0 = \sum_{i,j=1}^n w_{ij}$$

Donde z_i es la desviación de la variable en la posición i desde su valor medio $(x_i - \bar{x})$, $w_{i,j}$ es el peso asignado entre los valores i y j , n es el número de mediciones y s_0 la suma de todos los pesos espaciales. En ausencia de autocorrelación espacial I tiene un valor esperado $E(I) = -1/(n-1)$ y valores de $I > E(I)$ indicarán autocorrelación positiva, o valores para $I < E(I)$ negativa. El estadístico I tiende a una distribución gaussiana cuando se incrementa el tamaño de la muestra o número de observaciones, por lo tanto puede ser usado en forma de test confirmatorio de no autocorrelación espacial en los datos.

Otra importante herramienta descriptiva de datos geoestadísticos lo constituye el variograma. Este provee una estimación de la estructura espacial que se está desarrollando. El variograma es usualmente empleado como herramienta exploratoria de datos espaciales, y a menudo es empleado como un indicador informal de correlación espacial. No obstante, la potencia del variograma está en la estimación de los parámetros espaciales necesarios para modelar un proceso espacial que este permite. Sin embargo, como se discute en [14], el variograma debe solo utilizarse como una herramienta para la identificación de las características generales de la estructura espacial de los datos y como una manera conveniente de obtener estimaciones iniciales de dichos parámetros, pero no como un método formal de inferencia paramétrica.

El variograma empírico o experimental, es decir aquel que es obtenido mediante los datos del muestreo se calcula analíticamente como:

$$\gamma(\mathbf{h}) = \frac{1}{2N_p(\mathbf{h})} \sum_{i=1}^{N_p(\mathbf{h})} (Z(x_i) - Z(x_i + \mathbf{h}))^2$$

donde $N_p(\mathbf{h})$ es el número de pares de puntos a la distancia \mathbf{h} , y los $Z(x_i)$ son los datos experimentales en la posición x_i . De la interpretación visual del variograma pueden obtenerse



información valiosa acerca del proceso espacial en desarrollo, en particular, sobre los tres parámetros básicos necesarios para la estimación de datos en la región de estudio:

- Sill o meseta: que representa la varianza muestral máxima;
- Rango o alcance: distancia a la cual el variograma alcanza la meseta;
- Nugget o “efecto pepita”: discontinuidad al origen, explicada por la suma del error del método de medición más la variabilidad de pequeña escala.

La estimación de estos tres parámetros se puede obtener a través de varios métodos, algunos de ellos menos formales como el ajuste visual, aunque suficientes como para una aproximación de primer orden.

El análisis estadístico de los datos se realizó utilizando el software INFOSTAT [15], versión estudiantil. El análisis geoestadístico de los datos se realizó utilizando R [16], y los paquetes “ape” [17], “akima” [18], “sp” [19] y “geoR” [20].

RESULTADOS

Características Magnéticas de las Muestras

Un análisis magneto-mineralógico completo de esta campaña de muestreo puede verse en Chaparro et al. [1], donde se muestra que los portadores magnéticos que dominan la respuesta magnética son principalmente magnetitas y/o titanomagnetitas. Además, se muestra que las principales diferencias entre los sitios prístinos y sitios contaminados se dan en términos de aumentos de concentración de estos minerales y de diferencias de tamaños de granos magnéticos.

La x promedio hallada entre las $n=278$ muestras de suelos recolectadas en la Estación Marambio, muestra un valor de $30.02 [10^{-8} \text{ m}^3\text{kg}^{-1}]$. Un rango de valores muy amplio ha sido obtenido, el cual fluctúa entre un valor mínimo de 9.00 y un máximo absoluto de 615.90 en iguales unidades. Como primera medida, una comparación de medias entre sitios catalogados como prístinos ($n=26$) y sitios más próximos a la Estación ($n=252$) ha sido realizada. Se encontraron diferencias estadísticamente significativas en la x entre sitios prístinos ($x_c= 14.1 \times 10^{-8} \text{ m}^3\text{kg}^{-1}$, máximo de $19.7 \times 10^{-8} \text{ m}^3\text{kg}^{-1}$) y cercanos a la Estación ($x=31.7 \times 10^{-8} \text{ m}^3\text{kg}^{-1}$, máximo de $615.9 \times 10^{-8} \text{ m}^3\text{kg}^{-1}$). Se seleccionó el método de comparaciones múltiples de Fisher (LSD Fisher) para analizar la diferencia entre medias, donde se obtuvo una diferencia estadísticamente significativa ($p \leq 0.05$) entre ambas áreas muestreadas.

La Tabla I, muestra un resumen estadístico de los valores de x hallados en la región de estudio. Se presenta además los resultados de las comparaciones entre las medias para los agrupamientos de muestras según los sitios de control (áreas prístinas), la usina de la Estación y la Chacarita. En este sentido, letras diferentes indican diferencia estadísticamente significativa entre medias a un nivel de significancia $p \leq 0.05$.



SITIO	N	x [$10^{-8} \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1}$] (min->max)	S.D. [$10^{-8} \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1}$]	
Control	27	14.10 (11.9->19.7)	1.77	A
Marambio	252	31.7 (12.5->615.9)	52.3	A-B
Usina	39	31.84 (13.9->182.9)	29.14	B
Chacarita	23	71.77 (14.4->615.9)	128.22	C

Tabla I: resultados de mediciones de x, en tres áreas diferentes de la Estación Marambio.

Análisis Geoestadístico

Siguiendo la metodología empleada en la sección anterior, se evaluó la continuidad espacial de los datos obtenidos en dos etapas. Primeramente se calcularon por separado los Índices de Moran del área de control y del conjunto completo de mediciones en Marambio. En una segunda etapa, en esta última zona se identificaron y separaron los puntos muestreados próximos a la Usina y la Chacarita, con lo que se obtuvieron los índices para estas dos sub-regiones. Los resultados pueden observarse en la Tabla II.

SITIOS	N	IM	E(IM)	S.D.	P-valor
Control	27	0.082	-0.038	0.079	0.128
Marambio	252	0.018	-0.004	0.010	0.034
Usina	39	-0.053	-0.026	0.025	0.284
Chacarita	23	-0.059	-0.045	0.032	0.670

Tabla II: Resumen de Índices de Moran (IM) calculados, los valores esperados de los índices (E(IM)) bajo no autocorrelación, la desviación estándar del índice (SD) y el P-valor.

El mismo procedimiento se ha utilizado para el cálculo de los variogramas. Estos pueden observarse en los Figuras 2. Por un lado, se halló el variograma para el sitio de control y Estación Marambio en su totalidad. Seguidamente, dentro de la Estación misma se delimitó un área afectada por el depósito de chatarra (Chacarita) y otro afectado por las emisiones de partículas de la Usina. Sobre los variogramas correspondientes al sitio de Control, la Marambio y la Usina (Figuras 2.a, 2.b y 2.c, respectivamente) se han ajustado “a ojo” variogramas teóricos con el objetivo de obtener una estimación inicial de los parámetros de los modelos. En el variograma obtenido para el sitio la Chacarita (Figura 2.d) se ha utilizado el método de ajuste por cuadrados mínimos ordinarios, debido a que la gran dispersión de valores hallada imposibilita una primera aproximación mediante ajuste visual como la realizada con los demás variogramas.

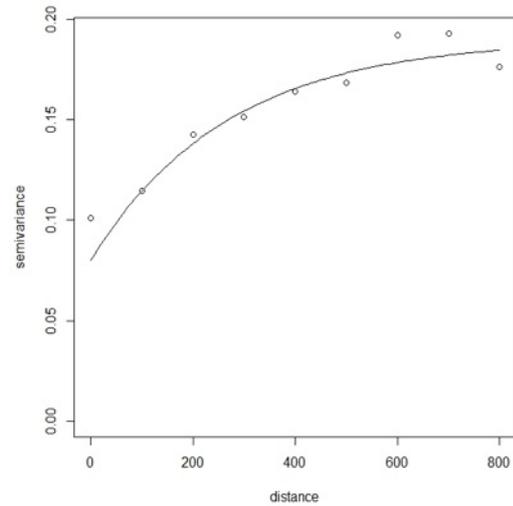
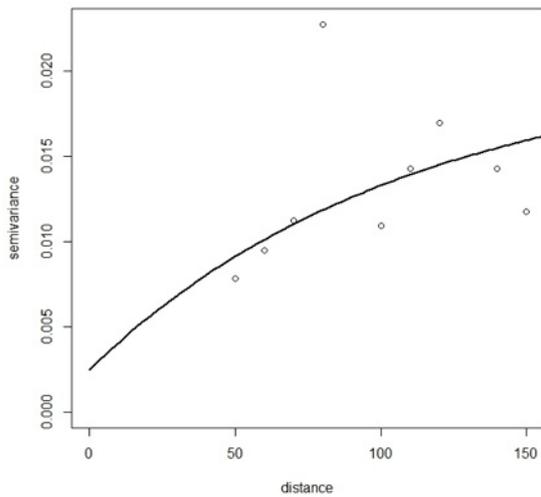


Figura 2.a: sitio de control Figura 2.b: Estación Marambio

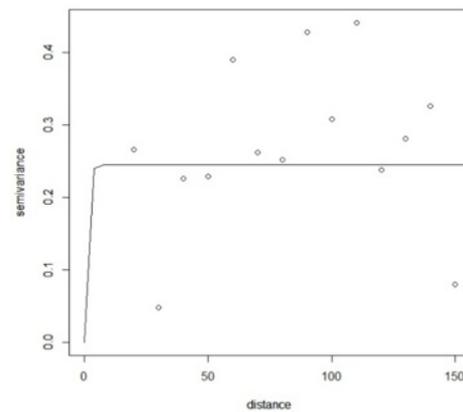
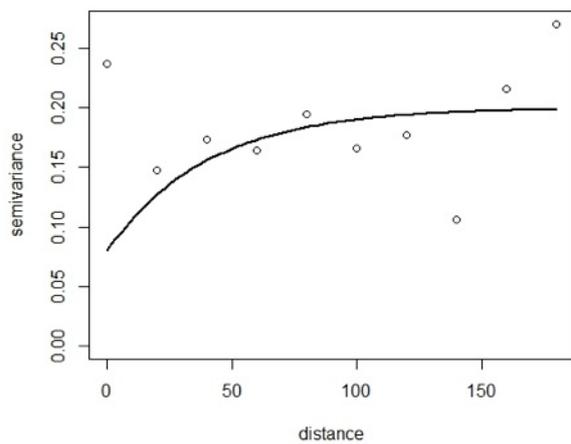


Figura 2.c: Usina

Figura 2.d: Chacarita

Por último, los parámetros obtenidos mediante los ajustes realizados en los variogramas se utilizaron para la obtención de los mapas de Kriging. La representación de estos mapas es aquí utilizado solamente para mostrar de una manera más intuitiva las estimaciones del grado y alcance de la contaminación antropogénica en cada sitio de estudio de la Estación Marambio. Los Figuras 3.a, 3.b, 3.c y 3.d representan el sitio de control, La Estación Marambio completa, la Usina y la Chacarita, respectivamente.

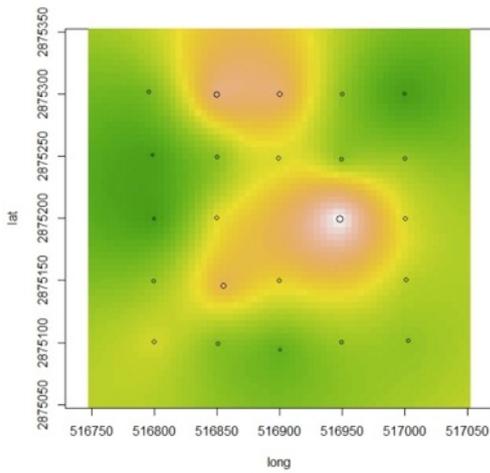


Figura 3.a: sitio de control

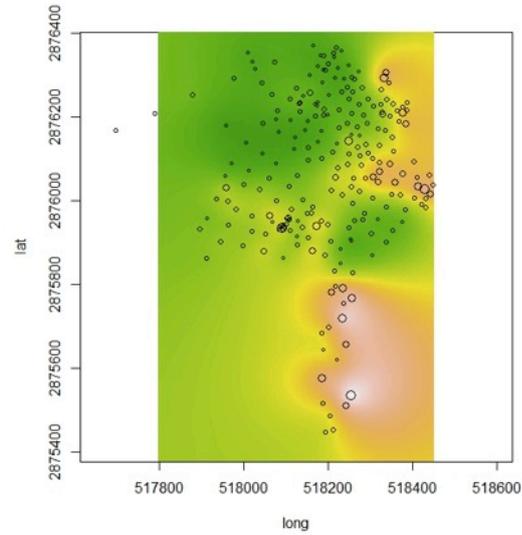


Figura 3.b: Marambio

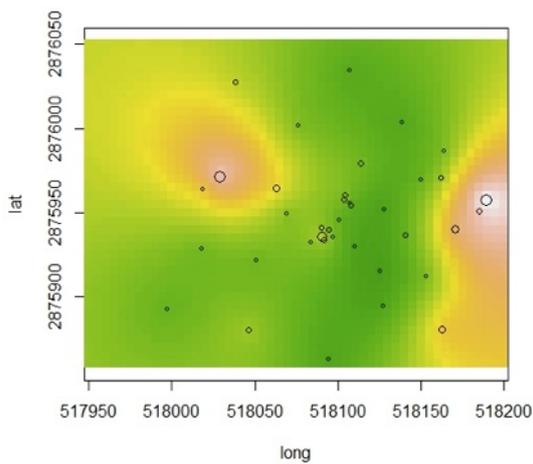


Figura 3.c: Usina

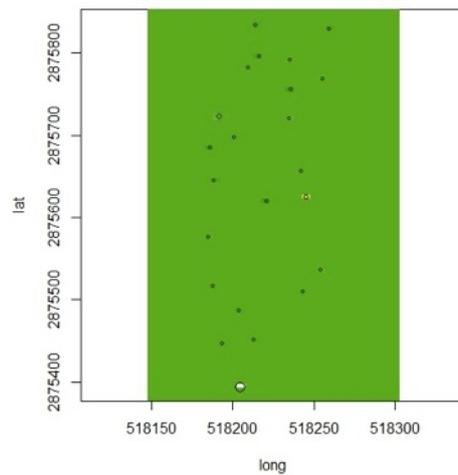


Figura 3.d: Chacarita

DISCUSIÓN

De las determinaciones de x realizadas en la Estación Marambio y áreas próximas se evidencia un aumento magnético generalizado en el área de la Estación, aspecto que más allá de los valores medios encontrados, se confirma de manera formal con los resultados de test estadísticos de comparación entre medias empleado. Además, se evidencia una fuerte dispersión de valores en regiones más fuertemente influenciadas por la actividad humana, hecho no observado en el sitio de control donde los valores se encuentran en un rango muy acotado, evidenciado en el valor de desviación estándar encontrado. El análisis de los dos sitios seleccionados dentro de la Estación muestra nuevamente un patrón de valores sumamente disperso destacándose la presencia de valores de x muy altos respecto al valor medio de cada sitio. El método de comparación de medias empleado estima que los valores



hallados en las cercanías a la Usina no son diferentes estadísticamente a los valores hallados en la totalidad de la Estación, aunque estos dos últimas regiones se diferencian al sitio de control a un nivel de significancia $p \leq 0.05$. En cambio, los valores obtenidos en las cercanías de la Chacarita revela un valor medio superior al doble del hallado en la Estación y casi 5 veces superior al sitio de control. Este aumento de x generalizado en esta región se vuelve formalmente visible siendo que la comparación estadística entre medias separa claramente este último sitio de todos los demás analizados al mismo nivel de significancia ya empleado. El Índice de Moran hallado en el sitio de control revela un patrón mas bien aleatorio en los datos en base al p -valor hallado, aunque la tendencia es a la autocorrelación positiva de los datos. Esta última suposición resulta en base al limitado número de observaciones en este sitio, por lo que resulta necesario realizar un muestreo más denso, con mayor número de observaciones para corroborar esta suposición. Por otro lado, dado que los valores de x hallados en este sitio son relativamente bajos, resulta necesario a futuro tener en consideración las características litológicas de cada punto de muestreo para así sumar una nueva covariable que permita explicar de mejor manera la variación de los datos.

El IM para las 252 observaciones en la Estación Marambio muestra una tendencia firme a la autocorrelación positiva, confirmado con la buena significancia estadística del índice que se encontró. Como ya se mencionó en la descripción de este índice en las secciones previas, una autocorrelación positiva significa que tanto los valores altos como los valores bajos de la variable en estudio se encuentran agrupados. Los índices hallados tanto en la Usina como en la Chacarita de la Estación muestran una tendencia claramente aleatoria. Si bien los valores de IM hallados son menores a su valor esperado bajo suposición de no autocorrelación, la tendencia a una continuidad espacial negativa no resulta estadísticamente significativa, por lo tanto en estos dos sitios mencionados se puede asumir un patrón completamente aleatorio. En este sentido, una comparación de los patrones hallados entre estas dos últimas regiones muestra una menor dispersión de valores en la Usina. Teniendo en cuenta los diferentes aportes de contaminantes que se destacan en estos dos sitios, la deposición de desechos metálicos genera un alto componente aleatorio espacial, dadas las características puntuales de tales hechos. En otras palabras, un sitio donde se depositó chatarra presenta un valor de x extremadamente alto que en general no se condice con los valores de x a los alrededores. Por otro lado, la deposición de material particulado proveniente de la Usina en los suelos próximos a la misma quedaría enmascarada por los altos valores de x que aportan restos de chatarra en esta misma región.

En los Figuras 2a, 2b, 2c y 2d se representaron los variogramas de cada región particular de análisis. En primer lugar, el variograma que corresponde al sitio de control muestra un patrón con buena dependencia espacial para las observaciones entre 50 y 75 metros. Esta última distancia puede definirse como el Rango de este sitio de muestreo, tal como se definió en las secciones previas. Más allá de esta distancia el patrón se vuelve aleatorio y nuevamente se pone se manifiesto la necesidad de sumar una nueva covariable para explicar la varianza de



este sitio. En el Figura 3.a puede observarse el mapa de Kriging que se obtuvo para esta región. El variograma obtenido para las 252 observaciones de la Estación Marambio muestra una excelente dependencia espacial hasta los 800 metros (que se define como el Rango o alcance para el área considerada). También se destaca la fuerte presencia de efecto nugget, o discontinuidad en el origen. Como ya se mencionó, el efecto nugget se explica como una suma entre el error propio de medición y una varianza de muy pequeña escala. Dada las características del método de medición y el protocolo empleado, podemos estar seguros de que la principal fuente de varianza de pequeña escala la produce la discontinuidad de valores en puntos próximos en los que se encontraron valores muy altos de x . Por ejemplo, en puntos muestrales donde se identifican restos de chatarras la x es muy alta respecto a sus alrededores. De acuerdo al Figura 2.b, aproximadamente la mitad de la varianza total de las observaciones corresponde al efecto nugget, y la otra mitad a la correspondiente variabilidad espacial encontrada. En el mapa de Kriging obtenido para esta zona (Figura 3.b) generado a partir del ajuste del variograma experimental, se observa claramente que las regiones de mayor incremento de la x son la Chacarita, la zona de Viviendas y en menor medida la zona de influencia del Incinerador.

El variograma obtenido para la región que comprende la Usina (Figura 2.c) muestra una fuerte discontinuidad en el origen, es decir una fuerte dispersión de valores que se encuentran en posiciones geográficas muy cercanas entre si. Este rango de distancias donde se presenta esta fuerte varianza puede estimarse, a partir del variograma, en 15 a 20 metros. En base a discusiones previas, esta variabilidad se le atribuye a deposiciones puntuales de chatarra o elementos metálicos dispersos también en este sitio. A partir de los 20 metros, se puede apreciar una buena dependencia espacial hasta los 110-120 metros. Esta última parte del variograma es la que se ajustó para la obtención de los parámetros del variograma teórico. Nuevamente, del ajuste se puede ver que la variabilidad de pequeña escala representa aproximadamente la mitad de la variabilidad total encontrada. En el mapa de Kriging de esta región (Figura 3.c) se puede observar que las emisiones de partículas de la Usina no generan un patrón de contaminación visible en los alrededores. En esta región estudiada, los principales aumentos magnéticos se estiman en la zona de depósito de combustibles y el almacén de herramientas de la Estación.

Por último, el variograma que se obtuvo en el área Chacarita (Figura 2.d) no muestra un patrón claro de dependencia espacial. Esta fuerte variabilidad de la x hallada, como ya se ha venido discutiendo resulta como consecuencia de las características del aporte de contaminantes que se da en este sitio. Es decir, la deposición de chatarra, genera un patrón puntual de contaminación sin dependencia espacial sobre las observaciones a su alrededor. El variograma obtenido, se ajustó mediante cuadrados mínimos ordinarios para obtener los parámetros necesarios para generar el mapa de Kriging (Figura 3.d). En este mapa se observa claramente un patrón muy puntual de contaminación, que como ya se ha discutido, se



caracteriza por sitios puntuales con fuerte aumento magnético producido por los desperdicios metálicos allí depositados.

CONCLUSIONES

Los métodos magnéticos aquí utilizados, en partículas las mediciones de susceptibilidad magnética, han resultado altamente eficientes como una primera aproximación en la evaluación de la contaminación antropogénica en la región abarcada por la Estación Marambio. Se han identificados zonas moderada y altamente contaminadas en este lugar, con aumentos magnéticos de hasta 40 veces superior respecto de zonas prístinas, debido principalmente a la disposición de chatarra en el suelo. Los métodos Geoestadísticos empleados para analizar las distribuciones espaciales de la x muestran el comportamiento claramente puntual de los eventos de contaminación en Marambio, afectados fuertemente por la disposición de chatarra. Esta suerte de máscara que provocan estos eventos puntuales en el análisis espacial, se evidencia muy notablemente en la varianza de muy pequeña escala, o efecto nugget, en los variogramas. Aplicando otros métodos magnéticos es posible discriminar los portadores magnéticos que introducen en el suelo los diferentes tipos de contaminantes que se producen en este sitio, tanto en tipo como en tamaño de grano, lo que implica una mejora en la evaluación de la polución antropogénica en Marambio, aunque la aplicación de dichos métodos pierde algunas ventajas respecto a la simple determinación de la x , particularmente en el tiempo de determinación de las características magneto-mineralógicas.

AGRADECIMIENTOS

A las autoridades de la Dirección Nacional del Antártico (DNA, Argentina) por el soporte logístico para llevar adelante las campañas, la Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires (UNCPBA), Agencia Nacional de Promoción Científica y Tecnológica (ANCyT) y CONICET por el soporte financiero.

REFERENCIAS

- [1] M.A.E. Chaparro, H. Nuñez, J.M Lirio, C.S. Gogoza y A.M. Sinito, 2007. Magnetic screening and heavy metal pollution in soils from Marambio Station, Antarctica, *Antarctic Science* 19 (3)379-393.
- [2] J.L. Agraz, R.A Sanchez, C.A. Rinaldi y J.M. Acero, 1998. Environmental review of the Argentine activities at Marambio Station, *Publicación Especial, Dirección Nacional del Antártico, Instituto Antártico Argentino*, 73 pp.
- [3] J.G. Andersson, 1906. On the Geology of Graham Land. *Bull. of the Geological Institution of Upsala*, 7, 19-71.
- [4] A. Gazdzicki, A. Tatur, U. Hara y R.A del Valle, 2004. The weddell Sea formation: post-Late Pliocene terrestrial glacial deposits on Seymour Island, Antarctic Peninsula. *Polish Polar Research*, 25, 189-204.



- [5] M.A.E. Chaparro, 2006. Estudio de parámetros magnéticos de distintos ambientes relativamente contaminados en Argentina y Antártida. MONOGRAFIAS, Geofísica UNAM, Monografía n° 7.
- [6] R. Thompson y F. Oldfield, 1986. Environmental Magnetism. London: Allen & Unwin.
- [7] F. Heller, Z. Strzyszc y T. Magiera, 1998. Magnetics records of industrial pollution in soils of Upper Silesia, Poland. Journal of Geophysical Research, 103, 17767-17774.
- [8] A. Kapicka, E. Petrovský, S. Ustjak y K. Machácková, 1999. Proxy mapping of fly-ash pollution o soil around a coal-burning power plant: a case of study in Czech Republic. Journal of Geochemical Exploration, 66, 291-297.
- [9] P.R. Beckwith, J.B. Ellis, D.M. Revitt y F. Oldfiel, 1986. Heavy metal and magnetic relationships for urban soils sediments. Physics of the Earth and Planetary Interiors, 42, 67-75.
- [10] U. Kukier, C. Fauziahshak, M.E. Summer y W.P. Miller, 2003. Composition and element solubility of magnetic and non-magnetic fly ash fraction. Environmental Pollution, 123, 255-206.
- [11] E. Petrovsky y B. Elwood, 1999. Magnetic monitoring of air, land and wáter pollution. Quaternary Climates, Environment and Magnetism. Cambridge University Press, 279-322.
- [12] S.V. Vassilev, 1992. Phase mineralogy studies of soil waste products from coal burning at some Bulgarian thermoelectric power plants. Fuel, 71, 623-633.
- [13] N.A Cressie, 1993. Statistical for Spatial Data. John Wiley & Sons, 900 pp.
- [14] P.J. Ribeiro Jr., P. Diggle, 2007. Model-Based Geostatistic. Springer Series in Statistics. 230
- [15] Di Rienzo J.A., Casanoves F., Balzarini M.G., Gonzalez L., Tablada M., Robledo C.W. InfoStat versión 2012. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. URL <http://www.infostat.com.ar>
- [16] R Core Team (2012). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. ISBN 3-900051-07-0, URL <http://www.R-project.org/>.
- [17] Paradis E., Claude J. & Strimmer K. 2004. APE: analyses of phylogenetics and evolution in R language. Bioinformatics 20: 289-290.
- [18] Fortran code by H. Akima R port by Albrecht Gebhardt spline function by Thomas Petzoldt <thomas.petzoldt@tu-dresden.de> enhancements and corrections by Martin Maechler (2012). akima: Interpolation of irregularly spaced data. R package version 0.5-7. <http://CRAN.R-project.org/package=akima>
- [19] Pebesma, E.J., R.S. Bivand, 2005. Classes and methods for spatial data in R. R News 5 (2), <http://cran.r-project.org/doc/Rnews/>.
- [20] Paulo J. Ribeiro Jr y Peter J. Diggle. 2001 geoR: a package for geostatistical analysis. R-News, 1(2):15-18.



Biorremediación de suelos contaminados con hidrocarburos. Efecto de la incorporación de fertilizantes nitrogenados

María Florencia Gobbi, Dario Peralta, María Silvina Videla, Santiago Labiano
Laboratorio de Bioprocesos, Facultad de Ingeniería, Centro Universitario, Parque General San Martín, Mendoza, Argentina
mfgobbi25@gmail.com, darioperaltarooca@hotmail.com, svidela@uncu.edu.ar, labiano@arnet.com.ar

RESUMEN

En la biorremediación de suelos contaminados con petróleo se deben evaluar los nutrientes que necesita la comunidad bacteriana: uno de ellos es el nitrógeno. En este trabajo se utilizaron tres fertilizantes nitrogenados de uso agrícola: Triple 15, Fosfato diamónico (DAP), Urea y una combinación de DAP y Urea. El objetivo es monitorear los cambios en la actividad biológica en muestras de suelo contaminado con petróleo crudo, evaluando el efecto de diferentes fuentes de N en la degradación de hidrocarburos. Para el estudio se realizaron ensayos de laboratorio con suelo contaminado con petróleo crudo el cual contenía 66360 mg/kg de hidrocarburos totales de petróleo (TPH), 768 mg/kg N total, 86 mg/kg N inorgánico. La actividad biológica del suelo se midió a través de la producción de CO₂ atrapado en una disolución de álcali en un sistema cerrado de incubación a 28 °C. Cada fertilizante fue incorporado al suelo siguiendo relaciones carbono-nitrógeno (C:N) 10:1, 20:1 y 40:1, la humedad óptima fue obtenida de un ensayo previo del suelo sin agregado de fertilizante considerando el 60%, 70% y 80% de la capacidad de retención hídrica (CRH). En el tratamiento 2 (DAP+Urea) la mayor producción de CO₂, 2380,3 mg C-CO₂/kg d, se encontró para la relación C:N 20:1 a los 8 días de iniciado el experimento. Los ensayos de respiración realizados permiten concluir que el fertilizante inorgánico Triple 15 inhibe la actividad biológica cuando es incorporado en altas proporciones, siendo la relación C:N 40:1 la más adecuada. Cuando se utilizó DAP como fertilizante, la actividad biológica se vio favorecida principalmente para las relaciones C:N 20:1 y 40:1. Cuando se utilizó Urea como única fuente de nitrógeno, se observó un aumento de la actividad biológica para las tres relaciones. Al incorporar una mezcla Urea+DAP, la actividad biológica se incentivó en las tres relaciones, siendo la relación C:N 20:1 la que generó la mayor producción de CO₂ de todos los tratamientos.

Palabras Clave: Biorremediación, nitrógeno, respiración de suelo, fertilizantes.



INTRODUCCIÓN

La contaminación ambiental más difundida puede atribuirse a la producida por hidrocarburos derivados del petróleo, causados por accidentes de petroleros, rupturas de tanques de almacenamiento, fugas en las tuberías y accidentes de transporte. [1]

Existen varias técnicas de biorremediación para tratar suelos contaminados con hidrocarburos, ya que estos son compuestos relativamente fáciles de degradar.

La biorremediación de suelos depende de varios factores que afectan el proceso de biodegradación tales como el contenido de humedad, la concentración de N y P, temperatura, contenido de oxígeno, micronutrientes, etc. Una característica de los suelos contaminados con hidrocarburos es la alta concentración de carbono comparada con la concentración de nutrientes, tales como N y P. Es esperable que particularmente el nitrógeno afecte la velocidad y la intensidad de la biorremediación debido a que los suelos pierden nitrógeno por lixiviación o procesos de desnitrificación. [2] Por ello, el N es, usualmente, el nutriente limitante en suelos y varios estudios se han focalizado en el efecto del N en la biorremediación de suelos contaminados con hidrocarburos. [2]

El procedimiento de biorremediación más utilizado es la bioestimulación de microorganismos indígenas por adición de nutrientes. La célula bacteriana necesita una fuente de nitrógeno y fósforo para poder llevar a cabo la biodegradación de los hidrocarburos del petróleo. Durante los procesos de biodegradación los microorganismos incorporan carbono (C) de la fuente contaminante, al mismo tiempo que extraen nitrógeno y fósforo inorgánicos del suelo para formar su estructura celular. La relación C:N:P de las células bacterianas son de 100:20:1. La cantidad de nitrógeno y fósforo necesario para estimular la biodegradación de hidrocarburos es menor que el requerimiento celular teórico debido a que no todo el carbono del contaminante es incorporado como biomasa (por ejemplo una fracción es convertida en dióxido de carbono) y una cantidad significativa de nitrógeno orgánico se recicla cuando la célula microbiana muere. [3]

Muchos experimentos de laboratorio y de campo con fertilizantes inorgánicos y orgánicos han mostrado un efecto positivo en la remoción de hidrocarburos de ecosistemas. [1] La forma preferida de incorporar el N es en forma de sales de amonio, otra fuente es la urea y los nitratos. En general, el nitrógeno como amonio es la forma más fácilmente utilizable por los microorganismos puesto que se encuentra en un estado reducido que favorece la formación de aminoácidos y otros procesos metabólicos, en comparación con los nitratos. [4] Según Shewfelt, el nitrógeno amoniacal incrementa la velocidad de degradación como resultado de una disminución en la fase lag, en comparación con los nitratos. [5]

Varios métodos son usados para el monitoreo y la caracterización de la acción degradadora de hidrocarburos. De ellas, la respiración de suelo (consumo de O₂ o producción de CO₂) es una de las técnicas más utilizadas a escala de laboratorio.

El objetivo del estudio es monitorear los cambios en la actividad biológica en muestras de un suelo contaminado con petróleo crudo sujeto a varios tratamientos de bioestimulación y evaluar el efecto de diferentes fuentes de nitrógeno en la degradación de hidrocarburos.



DESARROLLOS EXPERIMENTALES

Suelo

El suelo investigado fue obtenido de un yacimiento petrolero de Mendoza. Se extrajeron 80 Kg de suelo contaminado de una zona de acopio de los mismos. Luego del muestreo el suelo fue secado a temperatura ambiente (20° C), tamizado con malla de 2 mm y almacenado en un recipiente plástico. Se caracteriza por tener 66360 mg/kg de hidrocarburos totales de petróleo (TPH), 2,8% humedad, pH igual a 8,2, 768 mg/kg Nitrógeno total, 86 mg/kg Nitrógeno inorgánico, 3071 mg/kg Nitrógeno soluble en agua y una conductividad 7,7 mS/cm.

Diseño de experimentos

Se prepararon 45 frascos de 250 ml con cierre hermético, en los cuales se colocaron 50 g de suelo contaminado (Tamizado a 2 mm).[6] De ellos, se humedecieron tres frascos al 60% de su capacidad de retención hídrica (CRH), tres al 80% de CRH y los restantes al 70% CRH.

Se evalúa el efecto de cinco tratamientos:

- 1) A nueve frascos se les agregó agua destilada en las proporciones 8, 9, 10 ml. Este ensayo se realizó por triplicado.
- 2) A nueve frascos se les incorporó fertilizante agrícola. Tres contenían 600 ppm de fosfato diamónico (DAP) y 5200 ppm de urea, siguiendo una relación C:N 10:1. Tres frascos se suplementaron con 600 ppm de DAP y 1840 ppm de urea, con una relación C:N 20:1. Tres frascos se suplementaron con 600 ppm de DAP y 200 ppm de urea, con una relación C:N 40:1.
- 3) A nueve frascos se los suplementó con fertilizante inorgánico de uso agrícola (Triple 15 (T15)). La composición del fertilizante T15 es 9% Nitrógeno amoniacal, 6% Nitrógeno Nítrico, 15% Pentóxido de fósforo, 15% de potasio. Tres contenían 5700 ppm de nitrógeno (N), siguiendo una relación C:N 10:1. Tres frascos se suplementaron con 2440 ppm de N, con una relación C:N 20:1. A tres frascos se le adicionó 800 ppm de N, con una relación C:N 40:1.
- 4) A nueve frascos se les incorporó fertilizante orgánico de uso agrícola (Urea). La composición del fertilizante Urea es 44% Nitrógeno ureico. Tres contenían 13600 ppm de urea, siguiendo una relación C:N 10:1. Tres frascos se suplementaron con 6000 ppm de urea, con una relación C:N 20:1. Tres frascos se suplementaron con 2000 ppm de urea, con una relación C:N 40:1. Además se incorporó $\text{NaH}_2\text{PO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ como fuente de fósforo, siguiendo una relación carbono: fósforo (C:P) 100:1.
- 5) A nueve frascos se les incorporó fertilizante orgánico de uso agrícola (DAP). La composición del fertilizante DAP es 18% Nitrógeno amoniacal, 46% Pentóxido de fósforo, 46% fósforo disponible, 42% Pentóxido de fósforo. Tres contenían 34000 ppm de DAP, siguiendo una relación C:N 10:1. Tres frascos se suplementaron con 14400



ppm de DAP, con una relación C:N 20:1. Tres frascos se suplementaron con 4800 ppm de DAP, con una relación C:N 40:1.

En todos los frascos se introdujo un vial con 10 ml NaOH 0,5 M sin que éste toque directamente la superficie del suelo. Se cerró herméticamente cada frasco y se colocó en estufa de cultivo a 28° C. Los viales con NaOH fueron retirados periódicamente para determinar el CO₂ producido.

Antes de colocar un nuevo vial se destapan los frascos durante media hora. Después de ello se introduce el nuevo vial, se cierran nuevamente los frascos y se vuelven a incubar hasta la medida siguiente. Tres frascos con vial de NaOH pero sin suelo se utilizan de control.

Análisis físicos y químicos

El contenido de humedad del suelo se determinó siguiendo la norma ASTM D 2216-05. El pH en suelo se obtuvo mediante la técnica ISO10390:1994 Ed.1 y la conductividad eléctrica en suspensión 1:1 siguiendo las recomendaciones descritas por el Instituto de Calidad de Suelos, 1999.[7] El contenido de hidrocarburos parafínicos totales (TPH) se midió por la técnica EPA 418.1 Modificado Solvente. El nitrógeno total se evaluó siguiendo las técnicas ISO11261:1995 Ed.1. El nitrógeno inorgánico se determinó utilizando el Manual de Técnicas de Análisis de Suelos Aplicadas a la Remediación de Sitios Contaminados.[8]

Análisis estadístico

La producción de CO₂ de cada tratamiento para cada relación C:N fue comparada usando el análisis de varianza (ANOVA), con un nivel de confianza del 95%. Cuando se encontraron diferencias significativas entre las relaciones C:N se utilizó la prueba de rangos múltiples de Duncan con un nivel de confianza del 95%.

RESULTADOS

Tratamiento 1

En este tratamiento no se incorporó fertilizante. El suelo fue humedecido y se evaluó la humectación al 60%, 70% y 80% de la CRH. La mayor producción de CO₂ (207,5 mg C-CO₂/kg) se encontró para CRH 70, con un máximo de 29,0 mg C-CO₂/kg d.

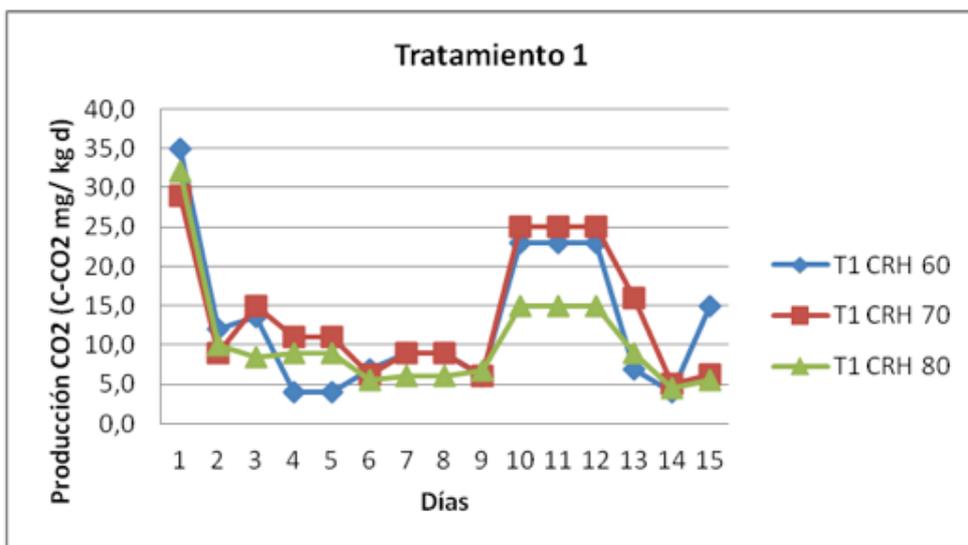


Figura 1. Producción de CO₂ para muestras de suelo sin fertilización.

En los tres ensayos se observa la mayor producción de CO₂ durante el primer día de incubación.

El ANOVA indica que no existen diferencias significativas entre las medias de las tres variables analizadas, por lo que cualquiera de las tres proporciones brinda el mismo tipo de humectación. De este set de experimentos se obtuvo la cantidad de agua a incorporar en los siguientes tratamientos. La misma corresponde al ensayo de 70 CRH.

Tratamiento 2

En este tratamiento, donde se mezclan un fertilizante inorgánico con otro orgánico, la mayor producción de CO₂ (1686,7 mg C-CO₂/kg) se encontró para la relación C:N 20:1, con un máximo de 208,8 mg C-CO₂/kg d a los 8 días de iniciado el experimento.

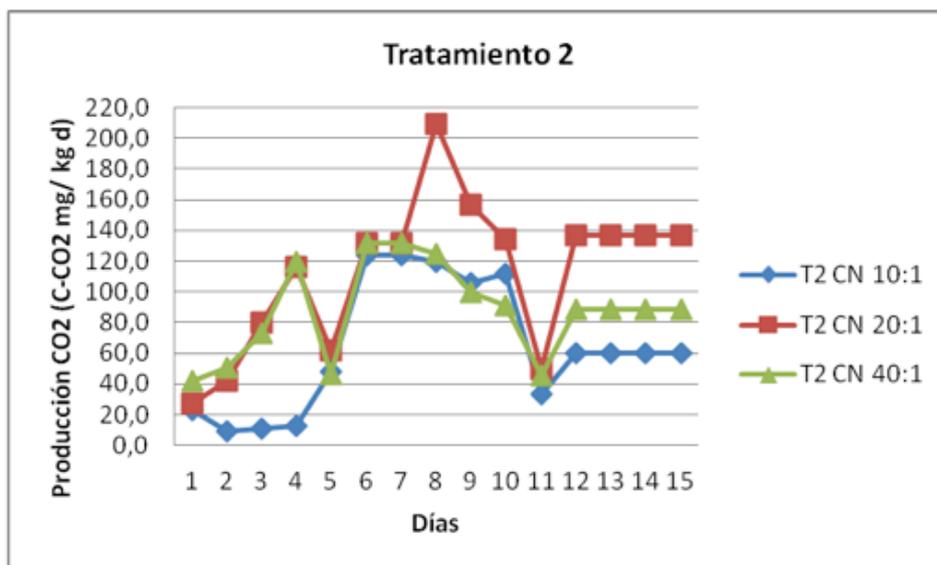


Figura 2. Producción de CO_2 para muestras de suelo fertilizadas con DAP+ Urea.

Desde el primer día de incubación, la producción de CO_2 fue similar al máximo obtenido en los tratamientos sin fertilizante para todas la relaciones C:N ensayadas.

Se encontraron diferencias estadísticamente significativas para la relación C:N 10:1 respecto de la relación C:N 20:1. Esto indica que la producción de CO_2 para la relación C:N 10:1 resultó la más baja de las tres. Por otro lado, analizando los resultados estadísticos de las relaciones C:N 20:1 y 40:1 se observa que fijarían un máximo y un mínimo de cantidad añadida de fertilizante que acompaña la actividad bacteriana.

La mezcla de DAP + Urea fue la que mayor producción de CO_2 presentó de todos los tratamientos. Una de las hipótesis que excede a los análisis realizados para este experimento es que existe una interacción con el fósforo incorporado descripta por Darwich quien dice que en general si la relación C/P inorgánico es de 200/1 o menor, el P inorgánico se mineralizará; si la relación es de 300/1 o superior los fosfatos se movilizarán. [9]

Tratamiento 3

El Triple 15 es un fertilizante que contiene el nitrógeno en forma amoniacal y en forma de nitrato, dando una reacción global ácida, debida al amonio. [10]

En este tratamiento la mayor producción de CO_2 (1572,9 mg C- CO_2 /kg) se encontró para la relación C:N 40:1, con un máximo de 151,7 mg C- CO_2 /kg d a los 8 días de iniciado el experimento.

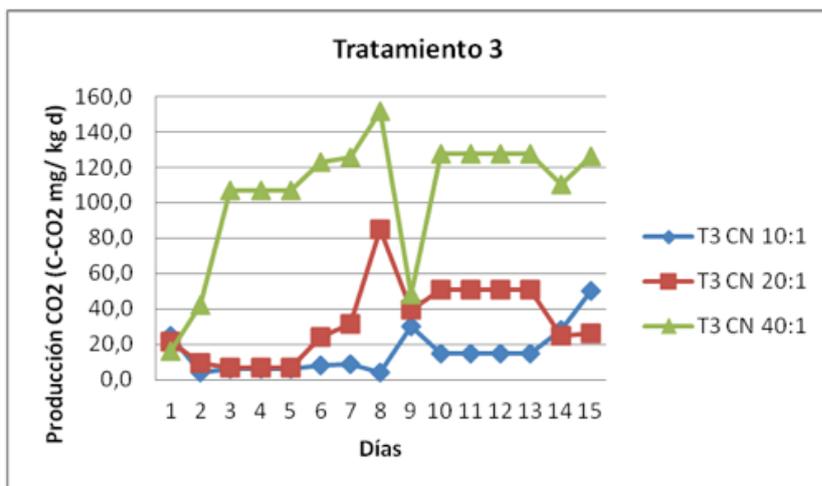


Figura 3. Producción de CO₂ para muestras de suelo fertilizadas con Triple 15.

Para las concentraciones C:N 10:1 y 20:1 se observa una inhibición muy marcada de la actividad biológica del suelo en los primeros 5 días de incubación. A su vez, es importante destacar que para la relación C:N 10:1 la producción de CO₂ (237,3 mg C-CO₂/kg) se asemeja a la obtenida en el suelo incubado sin la incorporación de fertilizante (207,5 mg C-CO₂/kg).

Se encontraron diferencias estadísticamente significativas para la relación C:N 40:1 respecto de la relación C:N 10:1 y 20:1, de las tres proporciones estudiadas la relación C:N 40:1 fue la más adecuada. En base a esto, el triple 15 debería ser aplicado al suelo en bajas dosis para evitar la inhibición de la población bacteriana y para disminuir la pérdida del fertilizante por volatilización.

Tratamiento 4

En este tratamiento se utiliza un fertilizante orgánico (Urea). Ésta posee la propiedad de hidrolizarse rápidamente al tomar contacto con la humedad del suelo, obteniéndose la velocidad máxima a 25 °C. El amoníaco liberado produce un aumento del pH del suelo alrededor del gránulo. El NH₃ reaccionará con el agua del suelo y formará el ión amonio el cual puede ser retenido por las arcillas, oxidando a nitrito y luego a nitrato o asimilado por plantas y microorganismos. [9]

La mayor producción de CO₂ (1617,1 mg C-CO₂/kg) se encontró para la relación C:N 40:1, con un máximo de 161,0 mg C-CO₂/kg d a los 9 días de iniciado el experimento.

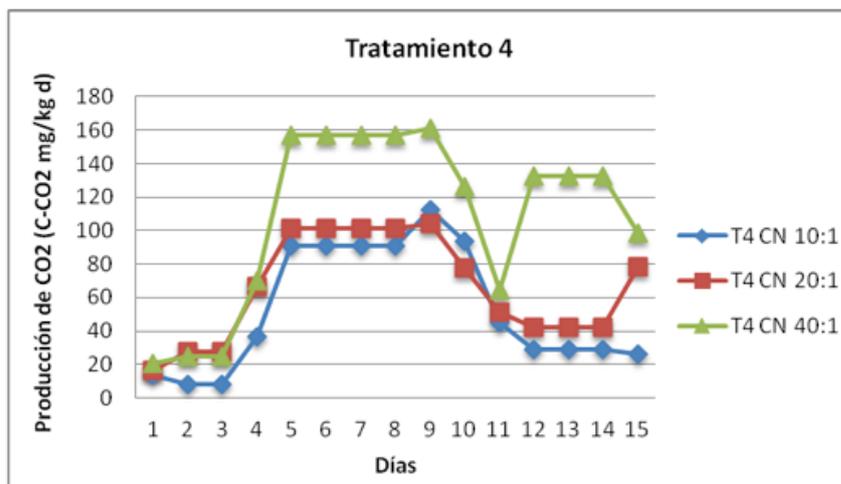


Figura 4. Producción de CO₂ para muestras de suelo fertilizadas con Urea.

Respecto del tratamiento 1, en las tres relaciones C:N la producción de CO₂ fue superior a la obtenida para el ensayo del suelo sin fertilizar. Esto indicaría que la urea es un fertilizante que no inhibe la actividad biológica, aun cuando se lo utilice en una relación alta (C:N 10:1). Se encontraron diferencias estadísticamente significativas para la relación C:N 40:1 respecto de la relación C:N 10:1 y 20:1.

Tratamiento 5

El DAP incorpora nitrógeno amoniacal al suelo (18%), además de un 46% de fósforo. Tiene un efecto residual ácido sobre los suelos, aunque inicialmente tiene una reacción alcalina (debido al HPO₄²⁻), por lo que es muy adecuado para suelos neutros o básicos.[10] Las reacciones iniciales en el suelo de ésta fuente amoniacal son complejas e incluyen aumentos de pH, altos niveles de NH₃ y NH₄⁺, y disminución de las poblaciones microbianas, especialmente nitrificadores. [11]

Este tratamiento presenta la mayor producción de CO₂ (1072,7 mg C-CO₂/kg) para la relación C:N 40:1, con un máximo de 123,3 mg C-CO₂/kg d para el día 9 de iniciado el experimento.

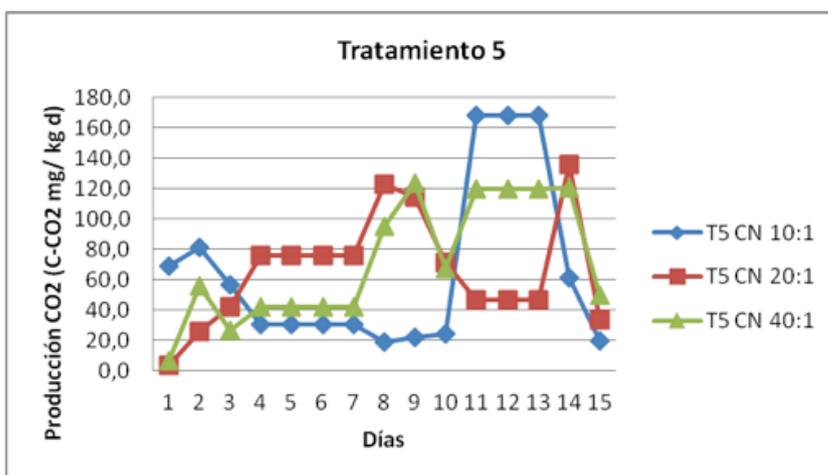


Figura 5. Producción de CO₂ para muestras de suelo fertilizadas con DAP+ Urea.



La producción de CO₂ tuvo variaciones muy importantes durante los días de incubación. Para todas las relaciones C:N utilizadas en este tratamiento, la producción de CO₂ fue superior a la obtenida para el tratamiento 1.

Analizando el gráfico se observa que la relación 40:1 tiene un comportamiento más estable en el tiempo con respecto a la 20:1, donde se encuentran máximos y mínimos alternados. Por ello, es preferible el uso de la relación C:N 40:1.

No se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre las relaciones C:N ensayadas. Sin embargo la relación C:N 40:1 es la que más favorece la degradación de hidrocarburos.

CONCLUSIONES

En este estudio se investigó la influencia de tres fertilizantes nitrogenados en la actividad biológica de un suelo contaminado con petróleo crudo.

Los ensayos de respiración realizados permiten concluir que:

1. El fertilizante inorgánico Triple 15 inhibe la actividad biológica cuando es incorporado en altas proporciones, siendo la relación C:N 40:1 la más adecuada de las tres estudiadas.
2. Cuando se utilizó DAP como fertilizante, la actividad biológica se vio favorecida en todas las relaciones estudiadas. Es de destacar que con este fertilizante se incorporó no solamente nitrógeno sino también fósforo.
3. Cuando se utilizó Urea como única fuente de nitrógeno, se observó un aumento de la actividad biológica para la relación C:N 40:1.
4. Al incorporar una mezcla de Urea + DAP, la actividad biológica se incentivó en las tres relaciones ensayadas, siendo la relación C:N 20:1 la que generó la mayor producción de CO₂ de todos los tratamientos.

La mejor respuesta de los fertilizantes utilizados se da para la relación C:N 40:1.

La interacción de los fertilizantes DAP y Urea no inhibe la actividad biológica.

REFERENCIAS

- [1] Margesin, R.; Simmerbauer, A.; Schinner, F., 2000. Monitoring of bioremediation by soil biological activities, *Chemosphere*, 40, 339-346.
- [2] Brook, T. R., Stiver, W. H., & Zytner, R. G., 2001. Biodegradation of diesel fuel in soil under various nitrogen addition regimes. *Soil & Sediment Contamination*, 10, 539-553.
- [3] Huesemann, M., 1994. Guidelines for land-treating petroleum hydrocarbon-contaminated soils, *Journal of soil contamination*, 3 (3)
- [4] Warworth, J.; Reynolds, C., 1995. Bioremediation of a petroleum contaminated cryic soil: effects of phosphorus, nitrogen, and temperature, *Journal of soil contamination*, 4(3), 299-310.
- [5] Shewfelt, K., Lee, H., & Zytner, R. G., 2005. Optimization of nitrogen for bioventing of gasoline contaminated soil, *Journal of Environmental Engineering and Science*, 4, 29-42.



- [6] García, C., 2003. Técnicas de análisis de parámetros bioquímicos en suelos: medida de actividades enzimáticas y biomasa microbiana, Ed. Mundi- prensa libros, 310-346.
- [7] Instituto de Calidad de Suelos. Departamento de Agricultura de los Estados Unidos de Norteamérica, 1999. Guía para la Evaluación de la Calidad y Salud del suelo.
- [8] Fernández Linares, C.; Rojas Avelizapa, N.; Et al., 2006. Manual de Técnicas de Análisis de Suelos Aplicadas a la Remediación de Sitios Contaminados. Instituto Mexicano del Petróleo. Secretaria de Medio Ambiente y recursos Naturales, Instituto Nacional de Ecología.
- [9] Darwich, N, 1998. Manual de Fertilidad de suelos y uso de fertilizantes, 41-94.
- [10] Ginés, I.; Mariscal- Sancho, I.; 2002. Incidencia de los fertilizantes sobre el pH del suelo, Fertiberia S.A.
- [11] García, FO. 1996. El ciclo del nitrógeno en ecosistemas agrícolas. EEA INTA- Balcarce. Boletín técnico N° 140, 1-15.



Causas de los problemas ambientales en establecimientos de engorde de bovinos a corral del partido de Tandil

Hernández, G. ¹, Rubio, R. ²

¹ Facultad Cs. Humanas, UNCPBA

² Departamento de producción animal. Facultad Cs. Veterinarias, UNCPBA
ghuruguaya@yahoo.com.ar

RESUMEN

A partir de la intensificación ocurrida en los establecimientos que realizan cría y engorde de bovinos en Argentina, surge la necesidad de analizar cuáles son los problemas ambientales que causan estas prácticas y proponer alternativas para mitigar o minimizar los efectos. Se realizó un relevamiento de los establecimientos del partido de Tandil, asentados en organismos oficiales, y según las respuestas obtenidas de las entrevistas efectuadas a los productores que poseen feedlot solo el 31% del total afirma no conocer los impactos ambientales ni las tecnologías de tratamiento de efluentes. El 69% restante conocen los impactos y/o las tecnologías; y ninguno de ellos aplica tecnologías de tratamiento de efluentes. También se realizaron encuestas bajo la metodología Delphi (e-mail), a técnicos de nivel nacional relacionados al engorde a corral, para detectar el conocimiento que poseen los productores ganaderos acerca de la contaminación que provoca su actividad y la predisposición a tratar los efluentes producidos. Opinaron, que se lleve adelante o no la aplicación de las tecnologías de tratamiento, depende del conocimiento, los costos y la falta de exigencias legales que implican el uso de estas tecnologías por parte de los productores. Respecto al conocimiento y adecuación de la legislación: todos concuerdan en que es poca, la que hay no se hace cumplir y que faltan leyes nacionales y provinciales que atiendan a las diferencias regionales que existen entre las provincias. Sobre el efecto de las políticas nacionales en el desarrollo de la actividad advierten que no existe planificación a largo plazo y se da un crecimiento especulativo, sin controles ambientales. Los datos no son concluyentes como para afirmar que la ausencia de tratamientos se derive del desconocimiento al respecto por parte de los productores.

INTRODUCCIÓN

La cría animal en Argentina ha sufrido una serie de transformaciones durante la última década, se caracterizan por una concentración de los sistemas de producción y entre otros, la alimentación intensiva de bovinos a corral (feedlot) que ha sido uno de las actividades que más ha crecido, particularmente en la región pampeana.

A partir de la expansión y aumento de los establecimientos que realizan este tipo de actividad, surge la necesidad de analizar cuáles son los problemas ambientales que causa esta práctica y proponer alternativas para mitigar o minimizar los mismos.



En el feedlot de bovinos para carne, el área de mayor riesgo ambiental lo constituye la contaminación localizada de suelos y aguas, tanto subterráneas como superficiales, emergente de la acumulación de deyecciones y movimiento de efluentes [1]. Y por otro lado la contaminación del aire y la degradación del paisaje [2].

En este marco surge la idea de hacer un relevamiento de los establecimientos del partido de Tandil, que se encuentren asentados en organismos oficiales, para obtener las características básicas de los mismos, saber cuántos hay, donde están ubicados, características socio-económicas y físico-naturales, el tratamiento de efluentes que realicen, la opinión de los productores respecto a los efluentes y a sus tratamientos, su conocimiento de la normativa vigente y su ajuste a la misma.

Por otro lado se realizaron entrevistas, bajo la metodología Delphi, a expertos relacionados con la temática con el fin de obtener su opinión acerca del presente y futuro de la actividad. Por último se propusieron alternativas de manejo viables para ser aplicadas al sector con el fin de reducir los problemas ambientales que puedan provocar.

METODOLOGÍA

Planteo del problema

En los feedlot del partido de Tandil no se realiza tratamiento de los efluentes generados por la actividad debido al desconocimiento de las tecnologías disponibles y de los impactos ambientales que causa la actividad.

Objetivo general

-Diagnosticar los problemas ambientales más relevantes que provocan los feedlot del partido de Tandil.

Análisis de datos

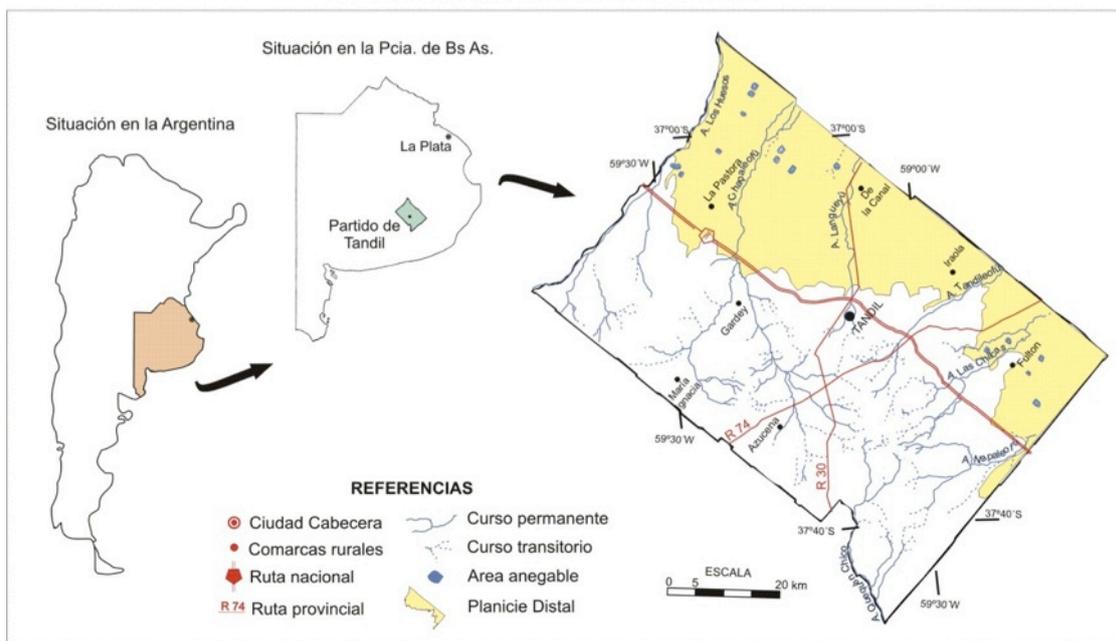
El estudio se realizó en base a los feedlot ubicados en el partido de Tandil, provincia de Buenos Aires, el cual se encuentra emplazado en la Pampa Húmeda y, más precisamente, en el sistema serrano de Tandilia, que lo atraviesa a manera de columna vertebral en sentido NO-SE. Este sistema orográfico se halla caracterizado por un conjunto de serranías bajas y de formas romas en el Centro y Norte del partido, mientras que cambian a formas de mesas o «tabulares» a medida que se recorre el Partido hacia el Oeste y Sur.

El clima es Templado pampeano con temperaturas media anual de 13° C y con precipitaciones de 900 mm anuales que en la actualidad tiende a aumentar.



Se desarrollo un relevamiento y análisis de los feedlot bajo estudio con el fin de obtener información acerca de las características básicas de los mismos, saber cuántos hay, donde están ubicados, características socio-económicas y físico-naturales, el tratamiento de efluentes que realicen, la opinión de los productores respecto a los efluentes y a sus tratamientos, su conocimiento de la normativa vigente y su ajuste a la misma. Para lograr esto se realizaron, por un lado, encuestas personales a los productores dueños de los establecimientos o a los encargados de los mismos. Por otro lado se obtuvo la opinión de experto en la temática acerca del presente y futuro de la actividad a través de la metodología Delphi. El análisis de los datos se llevo adelante con el paquete estadístico SPSS 15.0 para Windows.

Ubicación geográfica del Área de Estudio



RESULTADOS

Resultados de las encuestas

En primer lugar se realizó un análisis a partir del censo (se entrevistó a toda la población del partido) realizado a todos los productores de feedlot asentados en organismos oficiales en el partido de Tandil. La primera información obtenida mostraba que se encontraban en funcionamiento 27 establecimientos dedicados a la cría intensiva de bovinos a corral (feedlot). Luego de realizar el primer contacto con todos los productores se advirtió que 11 de ellos ya no llevaban adelante la actividad de engorde a corral, habían cerrado debido a diferentes circunstancias. Con los 16 restantes se llevo adelante la investigación.

El cuestionario se organizó en 5 bloques temáticos con preguntas abiertas y cerradas:

- Datos generales
- Datos de producción
- Datos de recolección y procesamiento de efluentes



- Datos de manejo de residuos
- Datos de opinión acerca de la actividad.

Una de las características a evaluar es la distancia a centros poblados a la que se encuentran ubicados los establecimientos. Para analizar esto se agruparon los datos de distancia a la ciudad más cercana dividiéndolos en 5 grupos. El primero agrupa a los feedlot que se encuentran a menos de 5 km del centro poblado más cercano. El segundo grupo dista de 6 a 9 km, el tercero de 10 a 13 km, el cuarto de 14 a 16 km y en el último grupo se encuentran los establecimientos ubicados a más de 17 km de distancia. Luego se realizó el análisis de frecuencia para éstos grupos, lo cual puso de manifiesto el hecho de que el 37,5% de los establecimientos se encuentra a menos de 5 km del centro poblado más cercano, lo que se encuentra penalizado por el municipio de Tandil a partir de la sanción de la ordenanza N° 11317 en el 2009.

Diferentes estudios científicos, [1] [3], recomiendan distancias mayores a 5 km de cualquier localidad para la instalación de los feedlot de manera tal que no provoquen efectos nocivos en poblaciones cercanas.

Por otro lado, se debe tener en cuenta la densidad de animales por metro cuadrado dentro de los corrales. Los corrales de feedlot a cielo abierto deberían permitir un espacio mínimo de 15 a 20 m² por animal para que el confinamiento no los incomode [1]

Las densidades de los casos estudiados se ubican dentro de los parámetros sugeridos, ya que los valores se encuentran entre 14 y 200 m² por animal, con una media de 57 m² por animal. En todos los casos los animales cuentan con suficiente espacio para moverse, sin embargo, los corrales muy grandes exponen a un mayor movimiento y también al desperdicio de superficies.

Otro aspecto a tener en cuenta son las condiciones geográficas y edáficas de la región, las cuales deben poseer características naturales para contener y minimizar la infiltración y el escurrimiento de efluentes.

Las pendientes generales no deberían superar el 4 o 5%, porque a mayores de éstas la velocidad del escurrimiento se torna erosiva y se hace difícil de reducir.

De acuerdo a los resultados, 6 de los casos estudiados (37,5%) poseen pendientes menores al 5%, pero de los restantes, 5 de los casos (31,3%) tiene pendientes mayores a 10 % llegando algunas a valores de más de 30%, lo cual lleva a conjeturar que en estos predios es muy alto el grado de esorrentía que se produce, lo cual dificulta el manejo de los efluentes generados.

Otro punto que se analizó es la cantidad de meses al año que los predios se encuentran ocupados con animales. Este dato resultó del cruce de la cantidad de ciclos de engorde al año que realizan los productores y la duración de estos ciclos.

El análisis muestra que el 50% de los establecimientos se encuentran ocupados con animales los 12 meses del año; un 37,6% entre 8 y 9 meses y un 12,4% solo cuenta con animales 6 meses al año.



Con respecto a la antigüedad de los establecimientos el 43,8% pose una experiencia en el sector de 4 a 6 años, el 25% menos de 3 años y el 31,2% hace más de 7 años que lleva adelante su actividad. El 70 % hace menos de 5 años que desarrolla su actividad, y dieron comienzo a esta para liberar campo para agricultura y porque los precios eran favorables.

En los extremos encontramos que existen 3 establecimientos que poseen más de 10 años de experiencia y 1 solo hace un año que está en funcionamiento.

En lo referente al tamaño de los establecimientos, de acuerdo a los resultados obtenidos para el partido de Tandil, podemos clasificar a los feedlot en tres categorías:

- menos de 500 animales: “Chico”. El **31,3%** de los encuestados
- entre 500 y menos de 1000:”Mediano” El **37,6%**
- más de 1000 animales: “Grande” El **31,3%**

Es decir, que se encuentra una proporción constante con respecto al tamaño de los establecimientos, mereciendo una mención especial un caso que es el extremo máximo, el cual posee un promedio de 16000 animales.

Estos datos se correlacionan con los de las superficies de los feedlot, ya que el 43,8% de ellos poseen menos de 2 ha dedicadas a los animales (feedlot chicos-medianos). Un 37,5 % destinan entre 3 y 10 ha (feedlot medianos), y un 18,9% más de 10 ha (feedlot grandes)

Para verificar lo dicho se realizó el análisis de correlación de Pearson, donde:

H_0 es igual a “no existe relación entre el tamaño medio de los feedlot y la cantidad promedio de animales”

H_1 es “existe relación entre el tamaño medio de los feedlot y la cantidad promedio de animales”

Dado que el test da un nivel de Significancia de 0,000, se rechaza la hipótesis nula y se acepta que existe una relación entre el tamaño medio de los feedlot y la cantidad promedio de animales. Y el grado de correlación es positivo y fuerte ya que el índice de Pearson ha dado 0,838, un valor muy cercano a 1.

Un vacuno excreta por día alrededor del 5 al 6 % de su peso vivo. Tomando las encuestas realizadas, se calculo el promedio de toneladas anuales vertidas al sistema. Se tomo como promedio animales de 300 kg, y se asumió una generación de 15 kg diarios de estiércol por animal. Este dato se cruzó con la cantidad de animales de cada establecimiento y la cantidad de meses que los predios se encontraban ocupados con animales.

Los resultados muestran que un establecimiento sería responsable de verter 500 toneladas por año al sistema, mientras que en el otro extremo hay un establecimiento que arroja más de 80000 toneladas de estiércol. Entre estos valores se encuentra el 88% de los feedlot los cuales vierten, en promedio, de 1000 a 6000 toneladas por año.

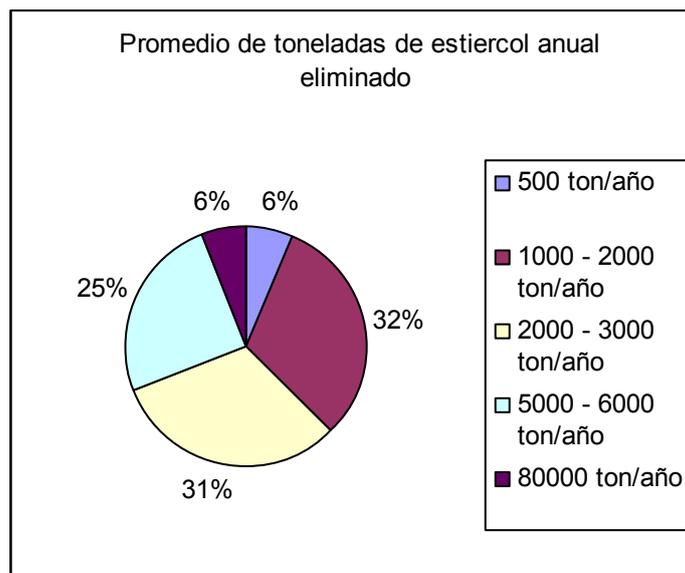


Gráfico 1: Promedio de toneladas de estiércol anual eliminado al sistema.
Fuente: Elaboración propia

Posteriormente se realizó el cruce de la variable Antigüedad con: Manejo de efluentes, Conoce tecnologías, Conoce impactos y Legislación. En el mismo análisis se pidió la prueba Chi-cuadrado.

En los cuatro casos los niveles de Significación de la prueba Chi-cuadrado de Pearson fueron mayores a 0,05, lo cual demostró que no hay relación entre las variables analizadas, es decir que la antigüedad de los establecimientos no condiciona el conocimiento que poseen los productores acerca de los impactos ambientales que produce la actividad y tecnologías de tratamiento de efluentes, como tampoco la legislación existente ni el manejo de efluentes que realizan

Por otro lado se observó que en el 81,3% de los establecimientos se desechan los efluentes dentro del sistema, es decir, dentro del mismo predio. El 12,5% desecha los efluentes afuera del predio pero dentro del propio campo y un 6,3% (1 establecimiento) usa los desechos para realizar fertilización.

Con respecto al conocimiento que poseen los productores acerca de las tecnologías de tratamiento de efluentes disponibles, el 62,5% afirmó no conocer ninguna, el 18,8% conoce las lagunas para tratamiento, el 12,5% la realización de composta y el 6,3% el biogás.

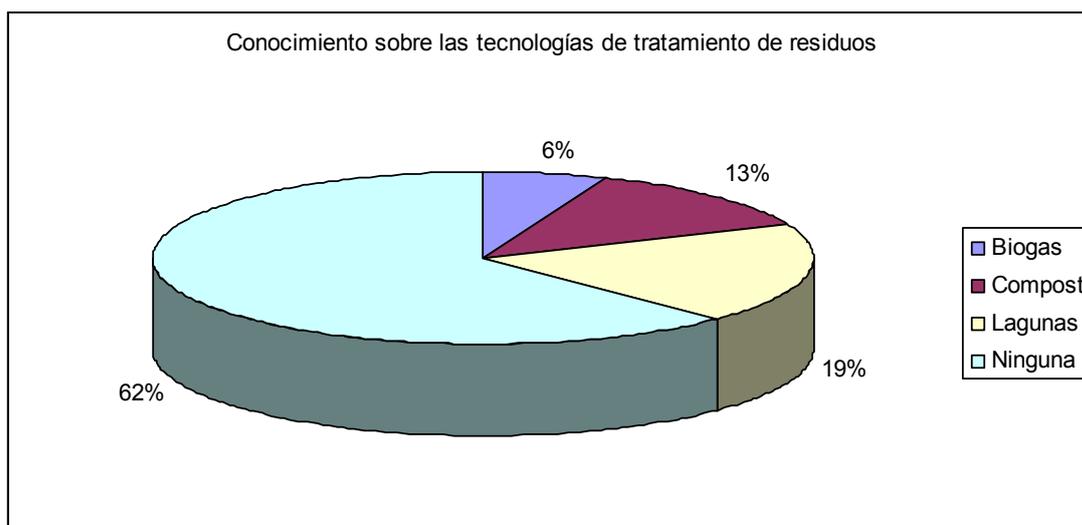


Gráfico 2: Conocimiento por parte de los productores de las tecnologías de tratamiento de residuos
Fuente: Elaboración propia

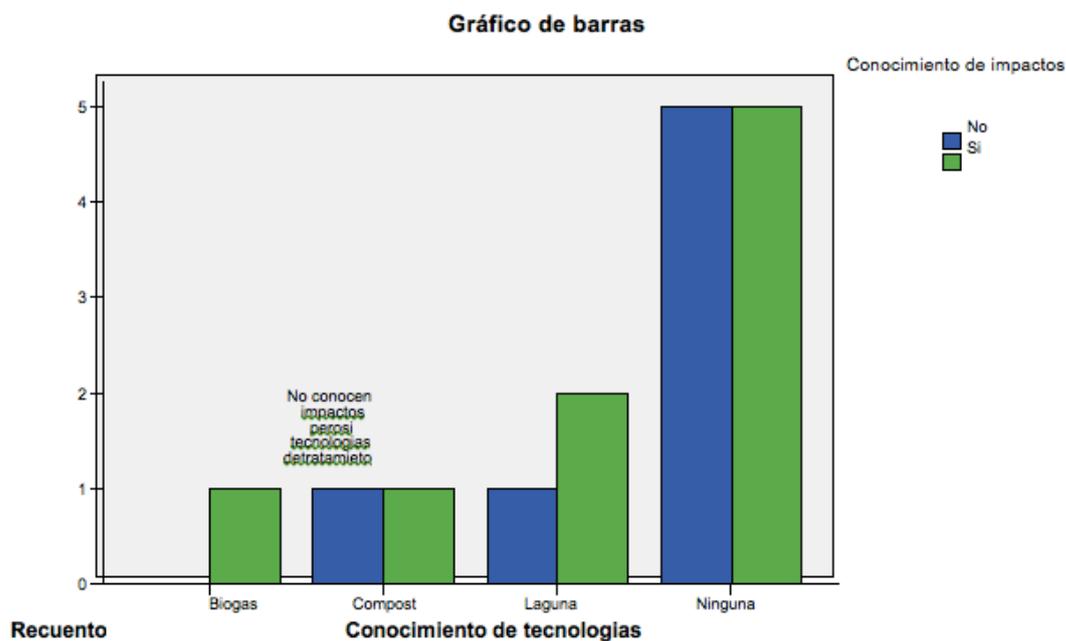


Gráfico 3: Comparación entre conocimiento de impactos ambientales y conocimiento de tecnologías de tratamiento.
Fuente: elaboración propia

Para determinar la posible relación entre éstas dos variables (conocimiento de tecnologías y conocimiento de impactos ambientales) se realizó una tabla de contingencia y la prueba Chi-cuadrado. Esto dio como resultado que no existe una correlación entre ellas y se observó que del 56% que conoce los impactos ambientales que produce la actividad el 25% conoce alguna tecnología de tratamiento y el 31% no conoce ninguna; y del 43% que afirma no conocer los impactos el 31% tampoco conoce tecnologías de tratamiento pero el 12% si las conoce.

En cuanto a la legislación conocida por los productores, el 62,5% dice que solo conoce lo dispuesto por SENASA para la venta de animales y un 25% además de SENASA tiene



conocimiento de la existencia de una ordenanza municipal que regula la actividad. Por último un 12% afirma que no conoce ninguna legislación.

En lo concerniente al manejo de residuos sólidos y lugar de almacenaje de residuos líquidos, los resultados muestran que, dado que su nivel de Significación es 0,007, existe una relación entre estas variables.

El análisis también muestra que del 81% que no hace ningún tipo de tratamiento con los efluentes líquidos y los deja que se escurran naturalmente del corral, el 50% no realiza ningún manejo de los restos sólidos, es decir que se acumulan en el corral, el 18% los remueve a una cava y el 12% los esparce en el campo. Luego continúa un 12,6% que depositan los líquidos en una cava, de ellos, 6,3% desparrama los sólidos en el campo y el otro 6,3% no los remueve del corral. Por último 6,3% elimina los líquidos en el campo y remueve los sólidos y los acumula en pilas.

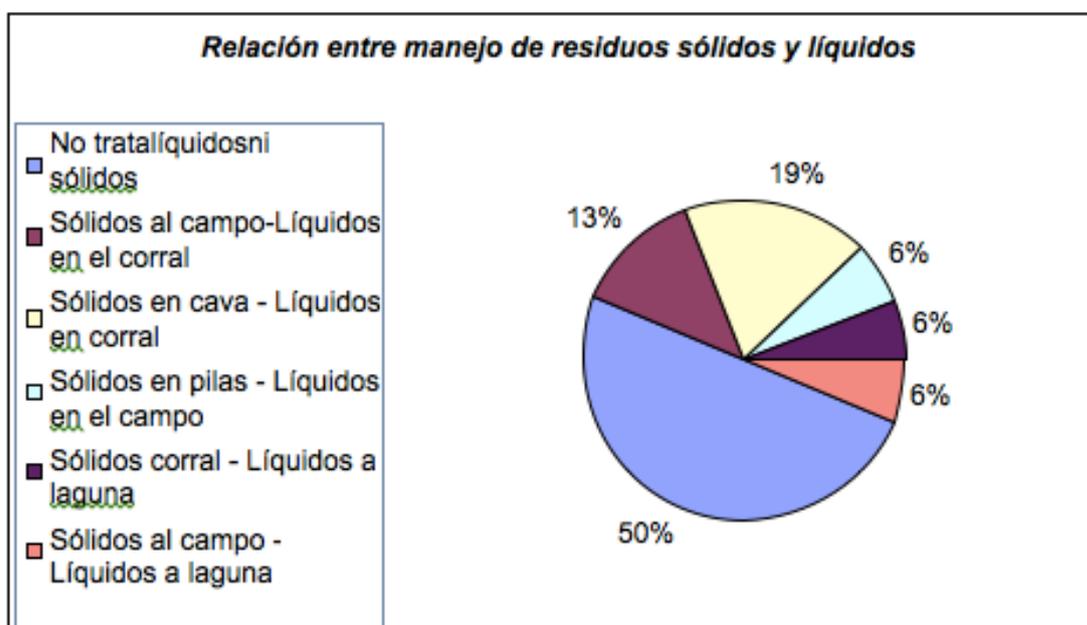


Gráfico 4: Relación entre manejo de residuos. Fuente: Elaboración propia

Siguiendo con este análisis también se evidenció una relación entre el manejo de residuos sólidos y la frecuencia de recolección de los residuos ($P < 001$).

Los resultados muestran que el 56,3% no realiza ningún manejo de los residuos sólidos y nunca hace recolección de los mismos. El otro 43,6% restante realiza una recolección anual y los destina al campo, a cava o a pilas de acumulación.

Se prosiguió con el análisis de manejo de efluentes relacionándolo al conocimiento de impactos ambientales que genera la actividad.

El test de Pearson arrojó un nivel de significancia de 0,657, por lo que no hay evidencia suficiente que demuestre relación entre el manejo de efluentes que se realice y el conocimiento de los impactos ambientales que causa la actividad.



El 56% asegura conocer alguno de los impactos ambientales que causa la actividad; y el 43,8% no conoce ninguno de estos impactos. Sin embargo, conozcan o no los impactos producidos, el 81,3% desecha los efluentes dentro del corral y no realiza ningún tratamiento de los mismos. En cuanto al análisis de los inconvenientes que atraviesa la actividad y cómo afecta la política nacional a su funcionamiento, se detectó que el 50% de los encuestados refiere la necesidad de potenciar las políticas a largo plazo, es decir, diseñar planes y programas referidos a la actividad y sostenerlos a lo largo del tiempo, tanto en el precio de los granos, del ganado, de las exportaciones e importaciones, etc; ellos dicen que “quieren reglas de juego claras”. Y señalan como inconvenientes el desequilibrio de valores relativos, la falta de políticas a largo plazo, la restricción a la exportación y otros propios de los establecimientos. Del 50% restante 12,5% señala que el gobierno debería sacar las retenciones y pagar los subsidios y el otro 37,5% no opina al respecto.

Resultados del método Delphi

Se realizó en análisis de las respuestas de dos rondas completas del cuestionario con datos cuantitativos sobre la dispersión-homogeneidad de las respuestas.

El proceso se inició con la elaboración del cuestionario, luego se realizó la selección de los expertos a consultar en base al conocimiento que poseen en la temática analizada los cuales resultaron ser 18. Una vez seleccionada la muestra de panelistas se les suministro vía correo electrónico una información general acerca de la temática en estudio (feedlot), una clara explicación del objetivo, de la metodología utilizada, las fases del proceso y se les solicitó su aceptación a participar en el estudio. Posteriormente les fue enviado el cuestionario junto a las instrucciones para cumplimentarlo.

Con los datos de la primera circulación se realizó el análisis estadístico. Una vez estudiados y organizados los resultados obtenidos se reformuló el cuestionario y se envió a los panelistas el siguiente informe:

Características de los informates

De los 18 informantes consultados el 41% de ellos tienen titulación universitaria, el 35% han realizado master y el 24% doctorados; todos con especialidades relacionadas al tema de estudio.

El 40% de los informantes se desempeñan como asesores de productores y el 60% como investigadores. Algunos también realizan tareas de extensión o se desempeñan como catedráticos en distintas universidades.

De ellos el 30% tiene menos de 15 años trabajando en actividades relacionadas con la ganadería, el 41% entre 15 y 30 años de experiencia, y el 29 % restante cuenta con mas de 30 años en la actividad.

En la consulta realizada, se les pidió que ellos mismos se colocaran una calificación de 1 a 10 la cual representara el grado de conocimiento que poseen acerca del tema consultado. Tres de ellos (16,3%) se asignaron números menores a 3, seis (33,3%) se colocaron en un rango de



conocimiento de 4 a 6 puntos, y nueve (50%) decidieron que su conocimiento dentro de la temática era mayor a 7 puntos.

Evaluación del cuestionario

Partiendo de que el *feedlot* es una actividad con cierto nivel de contaminación ambiental, se solicitó a los encuestados que la clasifique, siendo de valor 1 la actividad más contaminante a 5 la menos contaminante, que valor le asignaría al *feedlot*.

El 6 % la asignó valor 1; el 47 % 2; el 35 % 3 y el 12 % 4. Es decir que el 88 % considera que la actividad genera un nivel de contaminación de mediano a alto.

Con respecto a las características que más contribuyen a la contaminación de los predios, en primer lugar se colocó a las características físicas del lugar, luego el acondicionamiento del predio y por último la cantidad de animales.

También se señalaron otras variables que influyen, como la densidad de animales por metro cuadrado, la dieta utilizada, el clima, la política empresarial y los tratamientos de efluentes que se realicen.

En cuanto al compartimiento ambiental más afectado, el 95% señaló que es el agua, tanto superficial como subterránea, a través del escurrimiento y de la infiltración de líquidos provenientes de las deyecciones de los animales.

Como mayor peligro mencionan la contaminación con nitratos y con fósforo, y también la posible eutrofización de aguas superficiales.

Si bien se marca al agua como el más importante no es visto por los encuestados como el más perceptible, ya que la detección de su contaminación generalmente es a largo plazo. Lo que se señala como más perceptible es el olor y las partículas suspendidas en el aire. En este compartimiento también se menciona la contaminación por emanación de metano.

Al igual que el agua, el suelo se menciona como un compartimiento cuya contaminación se detecta a largo plazo, este puede ser afectado por nitrógeno y fósforo; y también puede sufrir compactación y erosión.

Cualquier tipo y grado de afectación va a depender del acondicionamiento de los predios y de la región geográfica donde se encuentre instalado.

Por último, también algunos mencionaron el impacto visual y la desvalorización de terrenos cercanos.

Del 83% afirma poseer conocimientos en cuanto a las tecnologías de tratamiento, y en cuanto a cuáles serían las más adecuadas, el 50% de ellos acuerda en que el tratamiento de efluentes con canales, piletas y lagunas sería lo más adecuado; dependiendo esto de la cantidad de animales.

Otros señalan la posibilidad de realizar compost o biogás en explotaciones de gran tamaño, y en los más chicos (menos de 1000 animales) realizar rotación de los animales y así fertilizar diferentes potreros (*feedlot ecológico*: se traslada el encierro de un lugar a otro y se le otorga más espacio a cada animal)



También mencionan algunos que se pueden contribuir a la disminución de contaminantes a través de una dieta/nutrición balanceada y de un buen diseño/localización de los predios.

Con respecto a de qué depende que se lleve a cabo o no la aplicación de las tecnologías de tratamiento, se nombraron en igual nivel de importancia a los costos que implican las tecnologías, el conocimiento por parte de los productores y la falta de exigencias legales (no existe legislación nacional para el sector, y las pocas ordenanzas que hay no se hacen cumplir).

Algunos también mencionan que depende de la escala de las explotaciones, de la responsabilidad de los productores y de la falta de transferencia tecnológica en esta área.

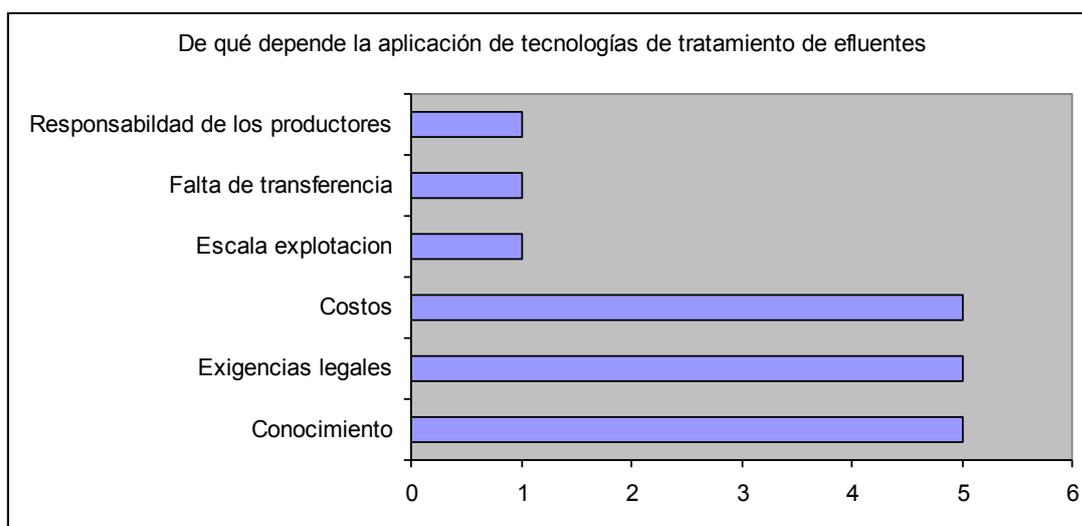


Gráfico 5: A qué se debe que se lleve a cabo la aplicación de tecnologías de tratamiento de efluentes
Fuente: Elaboración propia

En la consulta acerca de si los productores están dispuestos a tratar los efluentes de sus feedlot, los resultados son: el 25 % dice que no, 25 % dice que sí, otro 25 % dice que algunos sí y otros no, y por último, un 25 % dice que solo realizarían tratamiento si le legislación los obligara.

Y en cuanto a si está al alcance de todos la posibilidad de aplicar las tecnologías, el 50% acuerda que no y el otro 50 % que sí.

Acerca del futuro de la actividad, las respuestas se dividieron en diversas opiniones: algunos dicen que debido a la presión social habrá mayores regulaciones y se incorporará la cuestión ambiental al manejo de la producción. Otros opinan que cada vez van a ser menos, mas grandes y estarán restringidos a zonas áridas. Por el contrario varios dicen que habrá más cantidad, que van a ir desplazando a la ganadería extensiva para liberar campo para agricultura, y que la ausencia del Estado va a permitir esto. Por último, mencionan que su supervivencia depende de la rentabilidad de la actividad, de la política granaria y de costos muy cambiantes.

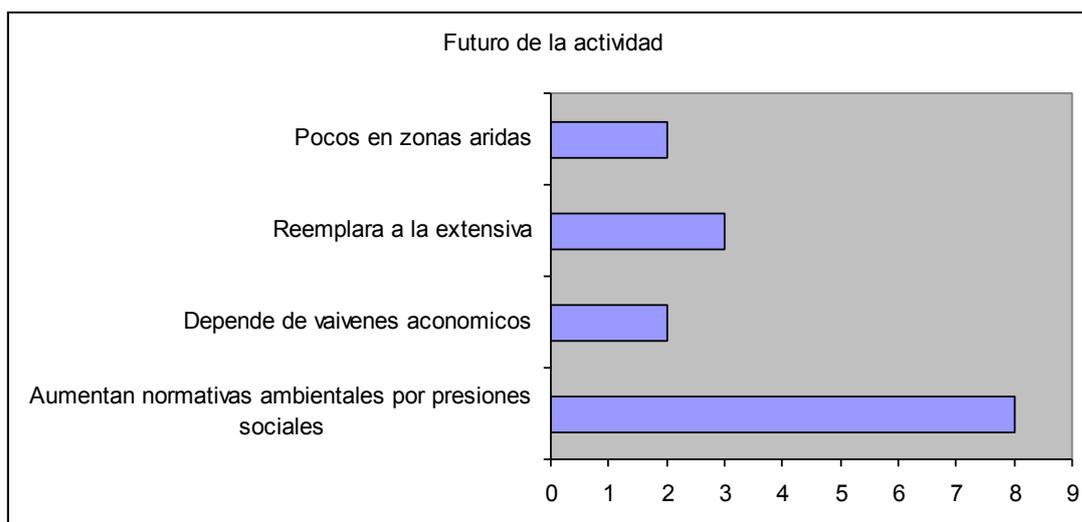


Gráfico 6: Futuro de la actividad
Fuente: Elaboración propia

Los efectos sociales que se nombraron fueron la contaminación del agua y el mal olor en primer lugar, luego la contaminación visual, la desvalorización de terrenos circundantes y el deterioro de la calidad de vida.

De los especialistas consultados el 61% asegura tener algún conocimiento en cuanto a las leyes existentes que regulan la actividad.

En general, todos concuerdan en que la normativa es muy poca, y la que hay no se hace cumplir. Falta ley nacional y provinciales que atiendan a las diferencias regionales que existen entre las provincias.

En cuanto a las políticas nacionales, hay consenso en que no existe ningún proyecto ni planificación a largo plazo. Se interviene de forma errática e inadecuada, se modifican relaciones de precios y se vuelve inestable a la actividad, llevando a los productores a no realizar inversiones en infraestructura. Se da un crecimiento especulativo y sin controles ambientales.

Resultados segunda vuelta de encuestas

En la segunda ronda de circulación hubo problemas para recoger la información de los expertos ya que se generaron 3 bajas que no entregaron información. Con las 15 restantes se procedió a realizar el análisis final.

Todos los expertos estuvieron de acuerdo en que el nivel de contaminación de los feedlot es de mediano a alto. El 90% acordó que lo más relevante en cuanto a las características de los predios son las características físicas del lugar y que el compartimiento ambiental más afectado es el agua.

También hay 100% de acuerdo en que como mínimo los efluentes se pueden tratar con canales y lagunas, y de acuerdo a la escala de producción, se debe incluir la tecnología necesaria para tratar los efluentes generados. Algunos destacan la necesidad de espacio para



el feedlot ecológico pero igual lo ven como una buena idea; y coinciden en la importancia del buen diseño y localización del predio y de una dieta balanceada.

Por otro lado todos coinciden en que la aplicación de técnicas de tratamiento de efluentes depende de los costos, el conocimiento y la falta de exigencias legales.

El 80% coincidió en que las tecnologías están al alcance de los productores y que la mayoría de ellos no están dispuestos a tratar los efluentes sino existe una legislación que los obligue.

En cuanto al futuro de la actividad todos coinciden en que depende de su rentabilidad. En lo que se refiere a cantidad de establecimientos el 30% cree que van a ser menos y que estarán restringidos a zonas áridas, el otro 70% opinan que serán más y desplazarán a la ganadería extensiva.

Sobre los efectos nocivos que produce la actividad sobre la sociedad, todos concuerdan en priorizar la contaminación del agua y luego mencionan al mal olor y deterioro de la calidad de vida.

Del 60% que afirmó poseer conocimientos acerca de la normativa vigente, todos coinciden en que es muy poca y la que hay no se hace cumplir.

Por último, en cuanto a las políticas nacionales, se repite el consenso en que no existe ningún proyecto ni planificación a largo plazo. Se interviene de forma errática e inadecuada, se modifican relaciones de precios y se vuelve inestable a la actividad, llevando a los productores a no realizar inversiones en infraestructura. Se da un crecimiento especulativo y sin controles ambientales.

DISCUSIÓN

De los encuestados el 100% no realiza tratamiento de los efluentes. Esta situación no se debe a que desconozcan los posibles impactos ambientales o las tecnologías de tratamientos disponibles ya que el 69% afirmó poseer al menos un mínimo conocimiento de los impactos que produce la actividad. El argumento que presentan para no realizar los tratamientos es que la cantidad de animales no es suficientemente grande como para justificar su realización. Los efluentes son vertidos dentro o fuera del sistema en forma de sólidos o semi-fluidos o bien manipulados como líquidos que se almacenan en excavaciones precarias (lagunas abiertas), sin aislación con el suelo. En la mayoría de los casos no se controla ni el tiempo de residencia de los efluentes ni su calidad en la descarga, la que habitualmente se distribuye dentro del mismo predio del establecimiento con fines de riego o de “fertilización”, aún sin conocer los niveles de nutrientes que pudiera aportar al sistema ni la capacidad de amortiguación del ecosistema para absorberlos.

Por otro lado los productores sostienen que la política nacional presenta un mercado de precios muy errático y no cuenta con políticas a largo plazo aplicables al sector, por lo que no saben si la actividad será rentable en un futuro próximo (productores chicos); lo que lleva a no estar dispuestos a hacer inversiones en infraestructura que mejoren las condiciones de los predios.



Se debe distinguir entre feedlot comerciales estacionales o de oportunidad. Los comerciales son empresas que operan todo el año mientras que los estacionales operan solo en condiciones favorables, es decir, cuando la relación de precios insumos - productos, grano - carne lo hacen rentable; o como una forma de liberar campo para dedicarlo a la agricultura o de realizar la terminación de los vacunos en un corto período de tiempo. Entre éstos dos tipos de productores existen diferencias ya que éstos últimos presentan mayor incertidumbre en el futuro de su actividad. No obstante, si los productores estuvieran dispuestos a realizar algún tratamiento de los efluentes generados, existen alternativas de bajo costo que se podría aplicar en estos establecimientos. (ej: feedlot ecológico)

Vistas las normativas existentes, se observa que existen regulaciones sobre los vertidos de los efluentes a cursos de agua superficial o al suelo, por lo tanto los efluentes generados por los establecimientos de cría intensiva de animales quedan regulados bajo esta normativa. Más allá de esto sería conveniente que la actividad de engorde bovino a corral tuviera una ley nacional general y leyes provinciales específicas para cada región en función de las características ecológicas, ambientales, climáticas y sociales de cada una de ellas, ya que, los proyectos ya iniciados, en su gran mayoría, no han tenido en cuenta aspectos ambientales o sociales más que los directamente asociados a la calidad del producto o a la eficiencia de producción. Existen antecedentes de que reacciones sociales han impulsado algunos cambios o ajustes del manejo de efluentes y olores en establecimientos en producción, sin embargo, se carece de una historia de adecuación y ajustes permanentes para remediar o prevenir efectos nocivos generados por la actividad. Mientras tanto se deberían revisar los mecanismos de control existentes y la capacidad que tienen o deberían tener los organismos habilitados para el control del establecimiento y funcionamiento de los feedlot, de implementar un sistema eficiente sobre el cumplimiento de las normas vigentes.

Como cualquier actividad humana existen múltiples factores que determinan la toma de decisiones, pero en éste caso la ausencia de legislación tanto nacional como provincial que regule la actividad es un punto crucial ya que si no existe un sistema de premios y castigos, los productores no están dispuestos a incorporar tecnologías que les generan costos y no ganancias, ya que existe poca conciencia acerca de que el cuidado del ambiente sea considerado una “ganancia”.

En cuanto a las tecnologías de tratamiento a aplicar, hay que tener en cuenta primeramente, las características físicas y climáticas del lugar. La región de estudio no es la óptima para la instalación de esta actividad; posee precipitaciones del orden de los 900 mm anuales, cursos de agua permanente y muchas veces napas freáticas cercanas a la superficie; todo esto aumenta la posibilidad de que se produzca contaminación por infiltración o escorrentía de los efluentes generados.

Por otro lado también hay que analizar la escala o tamaño del feedlot ya que no se aplicarán los mismos tratamientos en explotaciones chicas, medianas o grandes.

Uno de los posibles usos del estiércol en feedlot chicos o medianos es la aplicación directa en la tierra. Esto debe realizarse acorde a las necesidades del suelo, evaluando la falta de



nutrientes y en base a ello aplicar el material proveniente de las deyecciones animales. Según la referencias bibliográficas (Bowden, 1978 en Otero et al) la mayoría de los tipos de suelo pueden recibir hasta 30 toneladas de deyecciones por acre que, para nuestros cálculos, serían aproximadamente 75 t/ha y por año ($7,5 \text{ kg/m}^2$) sin provocar riesgos de reducir la producción agrícola o de causar la contaminación del agua. Esto va a variar en función de las condiciones del suelo y de la topografía. Esta práctica también se puede llevar a cabo en establecimientos con gran número de animales pero complementado con algún otro tratamiento, debido a que el volumen de residuos producidos será mucho mayor al requerido por el suelo.

Otra alternativa viable en establecimientos con menos de 1000 animales es el feedlot rotativo o ecológico en el cual se traslada el encierre de un lugar a otro dentro del predio antes de llegar a acumular estiércol sobre el suelo en concentraciones contaminantes.

Las lagunas de estabilización son opciones que serían factibles de incorporarse en establecimientos medianos o grandes, dependiendo su diseño y construcción de la cantidad de animales y de las características físicas del lugar.

Una estrategia capaz de ser aplicada en todos los feedlot es la que apunta disminuir la contaminación desde la alimentación a través de formular la dieta con la cantidad de nutrientes necesaria según los requerimientos de engorde de los animales (no formular en exceso).

El biogas es una alternativa viable en feedlot con un gran número de animales ya que se puede lograr abastecer energéticamente al propio establecimiento.

Para lograr esto primeramente se deberán superar algunas barreras como ser la falta de investigación y desarrollo de biodigestores a escala local; dificultades para que el sector dedicado al confinamiento de animales acepte la tecnología de digestión anaeróbica para el tratamiento de los residuos y/o efluentes debido a que generan poco atractivo para la producción de electricidad a partir de biogás dadas las características actuales del mercado eléctrico argentino (tarifas bajas y alta disponibilidad del servicio de red eléctrica en las principales zonas productoras); gran heterogeneidad de las unidades de producción; carencia de lineamientos técnicos de diseño y construcción; altos costos de operación, mantenimiento e inversión; incertidumbre en los niveles de rentabilidad e insuficientes esquemas de financiamiento.

Al mismo tiempo se debe lograr que los productores consideren al estiércol como una fuente de recursos en lugar de basura, focalizarse en la recuperación de esos recursos que representan energía, nutrientes, agua recuperada, mitigación de emisiones de gases de efecto invernadero y otros impactos ambientales. Cada productor debería realizar estudios de factibilidad económica de acuerdo a la escala de su producción en donde se presenten las tecnologías más adecuadas para implementar e incluya los costos de los insumos locales y la capacidad de abastecimiento de los mismos, los costos de operación y mantenimiento de los sistemas y las necesidades de capacitación.

En cuanto a la consulta realizada a expertos relacionados con la temática se concluye que si bien todos coinciden en que como toda actividad su futuro depende de la rentabilidad



económica, las opiniones se encuentran divididas entre los que opinan que estarán más regulados debido a las presiones sociales y se desplazarán a zonas con menos riesgo ecológico y los que creen que van a seguir creciendo y desplazarán a la ganadería extensiva a favor de la expansión de la frontera agrícola.

Todos coincidieron en la ausencia del estado en cuanto al control y regulación de la actividad, y también en que si bien el tratamiento de efluentes está condicionado por los costos de producción, todos están en condiciones de realizar algún tipo de tratamiento de acuerdo a su escala de producción y a las condiciones físicas donde se encuentren ubicado.

CONCLUSIONES

Luego de la revisión bibliográfica realizada y de la observación de la realidad a través de visitas a establecimientos de engorde bovino a corral, entrevistas a productores y consultas a expertos relacionados con la temática, concluyo que la hipótesis planteada: “En los feedlot del partido de Tandil no se realiza tratamiento de los efluentes generados por la actividad debido al desconocimiento de las tecnologías disponibles y de los impactos ambientales que causa la actividad” no es posible afirmarla a partir de los datos recabados.

Solo el 31% del total de productores afirman no conocer los impactos ambientales ni las tecnologías de tratamiento de efluentes. El 69% restante conocen los impactos y/o las tecnologías; y ninguno de ellos aplica tecnologías de tratamiento de efluentes. Por lo tanto, la ausencia de tratamientos no se deriva del desconocimiento al respecto por parte de los productores.

Por el contrario, si se puede decir que lo que se encuentra relacionado al hecho de que los productores no traten los efluentes es la ausencia o falta de aplicación de una normativa clara aplicable al sector.

También puede mencionarse que existe una falta de extensión y asesoramiento de los productores acerca de las posibles tecnologías de tratamiento que están a su alcance de acuerdo a las características de sus establecimientos o que existe una total falta de interés por parte de éstos en asesorarse ya que esto demandaría un trabajo extra y quizás una inversión que se amortizaría a largo plazo. Pero éstas son solo suposiciones que escapan al alcance del presente trabajo y deberían esclarecerse recabando datos y realizando análisis más profundos.

En base a este escenario, es necesario en primer lugar implementar acciones que mitiguen los impactos negativos que sobre el medio biótico provocan la descarga de residuos y efluentes de los establecimientos de cría intensiva de animales en los cuales no se aplican procedimientos adecuados de tratamiento, disposición final y descarga. Y por otro lado surge la necesidad de analizar tanto la reglamentación vigente que controla la descarga de efluentes a cursos de agua como la ausencia de regulaciones que controlen la generación de residuos provenientes de establecimientos de cría intensiva de bovinos a corral.

Para generar una inflexión en la situación actual se debe establecer un compromiso entre el productor y el medio ambiente, admitiendo que no hay forma sustentable de producción si se



ignora hasta donde tienen capacidad los ecosistemas para generar recursos y amortiguar los impactos generados por las actividades antropogénicas. Es fundamental instalar en la conciencia de los productores que los residuos son una parte del proceso productivo, y que sus costos de gestión deben necesariamente ser incluidos en la ecuación económica de la actividad, al margen de que el estado intervenga facilitando algunos aspectos como la incorporación de tecnología o la promoción del aprovechamiento energético

Luego de haber realizado todo el proceso de investigación, recolección y análisis de datos surge la necesidad de dejar planteados interrogantes que no lograron ser respondidos: ¿De seguir funcionando la actividad por varios años, los productores que dejan los efluentes en el corral, qué harán con ellos cuando su acumulación sea insostenible en el corral? ¿Les darán tratamiento apropiado?

Es sabido que en general, los productores, son reacios a incorporar tecnologías o mejoras que le impliquen inversiones que no recuperan en el corto plazo, entonces ¿de qué manera se puede lograr que perciban al cuidado del ambiente como un fin en si mismo? ¿Cómo hacer que lo internalicen en sus costos?

REFERENCIAS

- [1] Pordomingo, A. (2003) Gestión ambiental en el feedlot: guía de buenas prácticas. INTA, Anguil.
- [2] Santalla, E. et al (2008) Evaluación, diagnóstico y propuestas de acción para la mejora de las problemáticas ambientales y mitigación de gases de efecto invernadero vinculados a la producción porcina, avícola y bovina (feedlots y tambos) UNICEN Facultad de Ingeniería.
- [3] Gil, S. (2006) Engorde Intensivo (feedlot), Elementos que Intervienen y Posibles Impactos en el Medio Ambiente en <http://www.produccion-animal.com.ar>



Evolución de una Oscilación Casi Cuadrienal en la Precipitación a través de un Mapa Auto Organizado de Redes Neuronales *

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.*

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 oscilación en anomalías absolutas de precipitación en una escala de 4.8 años. Se conserva solamente la componente de Fourier de 4.8 años a los fines de forzar la organización confeccionada por la red en términos únicamente de la fase y de la amplitud de la oscilación de anomalías absolutas. A través del ordenamiento en la red puede seguirse la evolución de la señal de 4.8 años en la precipitación en torno a la banda ecuatorial por medio de la topografía de máximos de amplitud en secuencia de fase.

Se identifica una señal asociada a un máximo de precipitación sobre el Pacífico central ecuatorial. Se observa una rápida expansión durante el primer año de esta señal hacia Indonesia a la vez que hacia el Amazonas y luego una expansión más lenta hacia el trópico sur. El segundo año avanza sobre África y retorna desde el Amazonas hacia el Pacífico oriental. En el tercer año la señal que atravesó África alcanza Sudamérica y desde Indonesia retorna hacia el Pacífico. Durante el cuarto año se expande desde el Amazonas hacia el sur y se intensifica el retorno desde Indonesia hacia el Pacífico central. El ciclo se cierra concentrándose la señal otra vez sobre el Pacífico central.

Palabras clave: Variabilidad climática, precipitación, redes neuronales, mapas auto organizados, oscilación casi cuadrienal.

INTRODUCCIÓN

En los últimos años se ha detectado una oscilación en la escala de cuatro a cinco años que se ha dado en llamar oscilación casi cuadrienal (quasi-quadriennial oscillation QQO) En el Pacífico oriental Jiang (1995) detecta un ciclo de 52 o 53 meses como el que contiene la señal más relevante que contribuye con un 28.5% de la variabilidad a la señal de Niño 3 y presenta máximos de amplitud en 1957/8, 1969, 1972/3, 1982/3 y 1986/7. Oscilaciones en torno a cuatro años se registran sobre regiones de Europa en la precipitación, la presión al nivel del mar y la temperatura en superficie del mar (Álvarez-García, 2011). En series paleoclimáticas

Este trabajo participa en el "concurso para jóvenes investigadores".



se ha identificado una variabilidad en el orden de cuatro años sobre Europa occidental (Tourre et al., 2011). Kimoto (2001) halla oscilaciones en torno a cuatro años en la cuenca del Pacífico tropical a través de modelos de circulación general. Tras haber observado que la señal más relevante en la precipitación global en torno a los cuatro años responde a un período del orden de 4.8 años (Vargas, 2010), se ha seleccionado el armónico correspondiente a tal período.

Con el objeto de seguir la evolución de la fase de la señal de 4.8 años, 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 un único armónico senoidal generado a partir de series de anomalías absolutas en la precipitación total mensual obtenida de reanálisis en puntos de grilla. Este armónico difiere sólo en fase y amplitud en cada punto de grilla, lo que en la red esférica se expresa por medio de lazos cerrados sobre la superficie de la red. Desde estos lazos cerrados trazados en las capas interiores se proyecta sobre la capa externa o sensible para obtener la evolución geográfica de la fase de la señal sobre el Globo.

En una primera parte del trabajo se describe sucintamente la metodología y fuente de datos. En una segunda parte se sintetiza los resultados que describen la evolución de la señal de 4.8 años en torno a la banda ecuatorial alrededor del Globo. 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 del armónico once 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 la lluvia acumulada mensualmente en cada punto de grilla. Es sabido que la precipitación es una de las variables menos confiablemente calculada y pronosticada, pero de



todas maneras el reanálisis de precipitación contiene considerable información acerca del patrón de lluvias cubriendo regularmente el Globo.

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 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 almacenado en esa única neurona pueda ser interpretado como una síntesis de los ejemplos presentados a la red. En términos numéricos, un conjunto de estímulos proviene de un ambiente en el que está inmersa la red. Esos estímulos se expresan por medio de un vector (X_0). 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 ($X2 = Y1Wi$) 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 resultante 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. En otro trabajo (Vargas, 2009) hemos mostrado cómo esta red funciona y descrito más detalladamente sus características.



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 el armónico once de Fourier obteniendo una señal senoidal de 4.8 años (58 meses). Se trata de una señal armónica rígida pero simple cuyo ordenamiento en la topografía de la red sólo está asociado a la fase y la amplitud.

RESULTADOS

La capa más profunda de la red caracteriza cuatro patrones de anomalías. Se tomará como referencia el año 1973 para la ubicación relativa de las fases. La neurona 3 responde a una oscilación con una amplitud de poco más de 5mm y una fase con máximo a principios de 1973. En las figuras 1 y 2 se observa la reconstrucción de las series por medio de las neuronas 3 y 4 con sus campos de anomalías asociados. Puede verse que el comportamiento de la onda de 4.8 años en la neurona 3 presenta un patrón muy singular en la banda ecuatorial del Pacífico. La neurona 4 describe un patrón de onda casi en oposición de fase con respecto a la caracterizada por la neurona 3. Puede notarse que en el Pacífico sur de altas latitudes se observa un patrón de anomalías complementario al ecuatorial.

C: 4 N: 3 Amplitud =5.06992

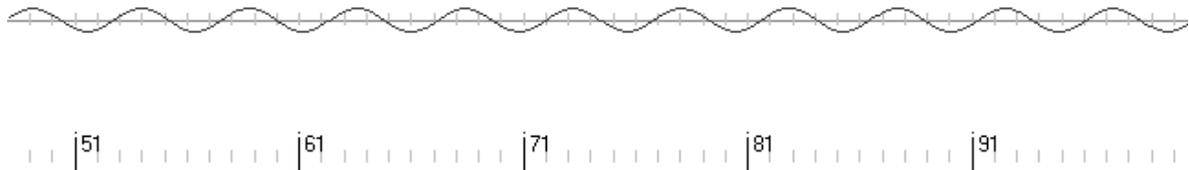


Figura 1-a. Serie temporal reconstruida a partir de la tercera neurona de la cuarta capa de la red. La leyenda hace referencia a la cuarta capa interna, tercera neurona cuya amplitud vale 5.06992mm

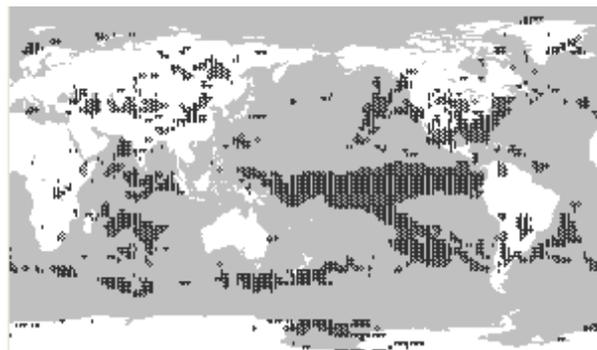


Figura 1-b. Distribución espacial de anomalías representada por una señal senoidal de 4.8 años caracterizada por la tercera neurona de la cuarta capa de la red.



C: 4 N: 4 Amplitud =3.79031

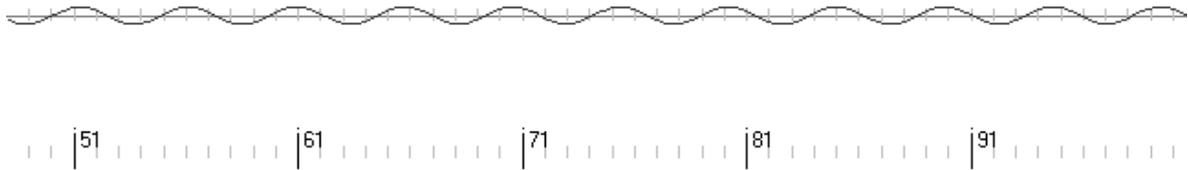


Figura 2-a. Serie temporal reconstruida a partir de la cuarta neurona de la cuarta capa de la red. La leyenda hace referencia a la cuarta capa interna, cuarta neurona cuya amplitud vale 3.79031mm

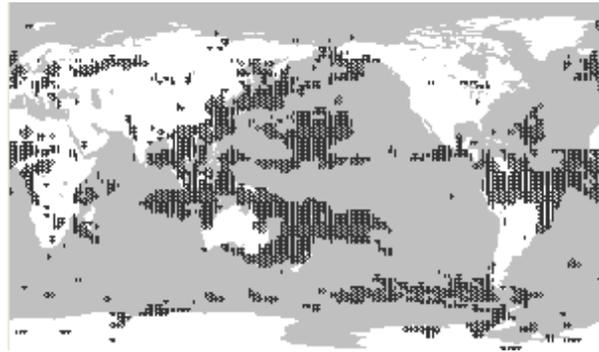


Figura 1-b. Distribución espacial de anomalías representada por una señal senoidal de 4.8 años caracterizada por la cuarta neurona de la cuarta capa de la red.

Las neuronas 1 y 2 (figuras 3 y 4) caracterizan el comportamiento de las anomalías en regiones extratropicales y polares. Las amplitudes son sensiblemente menores a las de las neuronas 3 y 4, y casi en oposición de fase entre sí.

C: 4 N: 1 Amplitud =2.28926

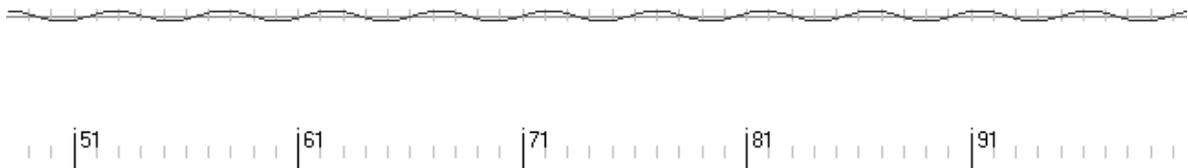


Figura 3-a. Serie temporal reconstruida a partir de la primera neurona de la cuarta capa de la red. La leyenda hace referencia a la cuarta capa interna, primera neurona cuya amplitud vale 2.28926mm

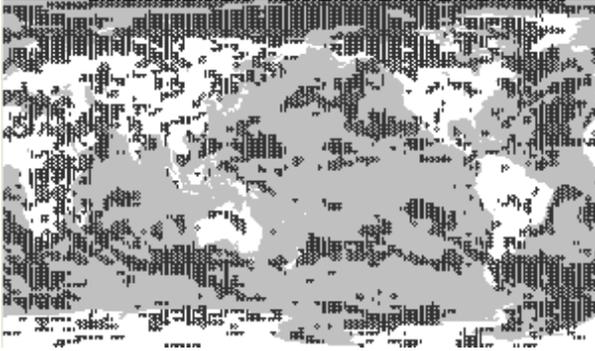


Figura 3-b. Distribución espacial de anomalías representada por una señal senoidal de 4.8 años caracterizada por la primera neurona de la cuarta capa de la red.

C: 4 N: 2 Amplitud = 2.66373

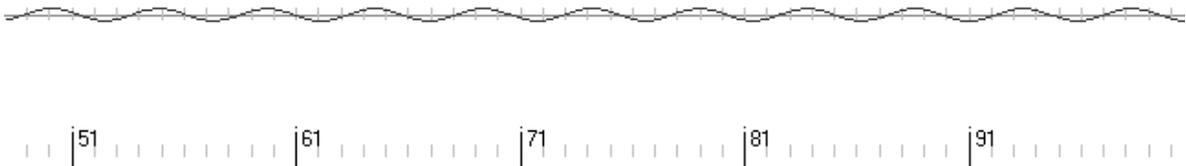


Figura 4-a. Serie temporal reconstruida a partir de la segunda neurona de la cuarta capa de la red. La leyenda hace referencia a la cuarta capa interna, segunda neurona cuya amplitud vale 2.66373mm

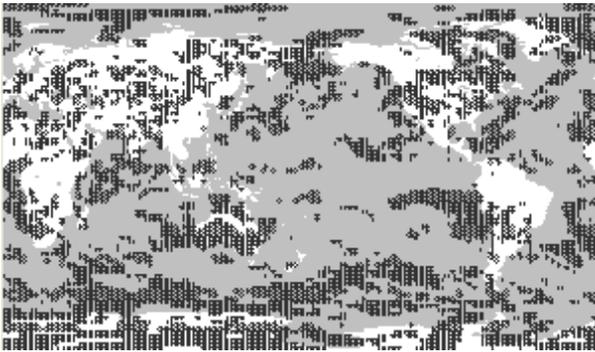


Figura 4-b. Distribución espacial de anomalías representada por una señal senoidal de 4.8 años caracterizada por la segunda neurona de la cuarta capa de la red.

En la secuencia de imágenes de los campos de asociación, acompañados por los cortes zonal (arriba de cada mapa) y meridional (a la derecha de cada mapa), se observa la evolución de esta onda en cuatro etapas (Figura 5). Si tomamos la neurona 3 como inicio del proceso, la neurona 2 la sigue con retraso de un año. Todavía un año después se manifiesta la serie de la neurona 4 y por último se observa en secuencia de fase la neurona 1 con más de tres años de retraso con respecto a la 3.

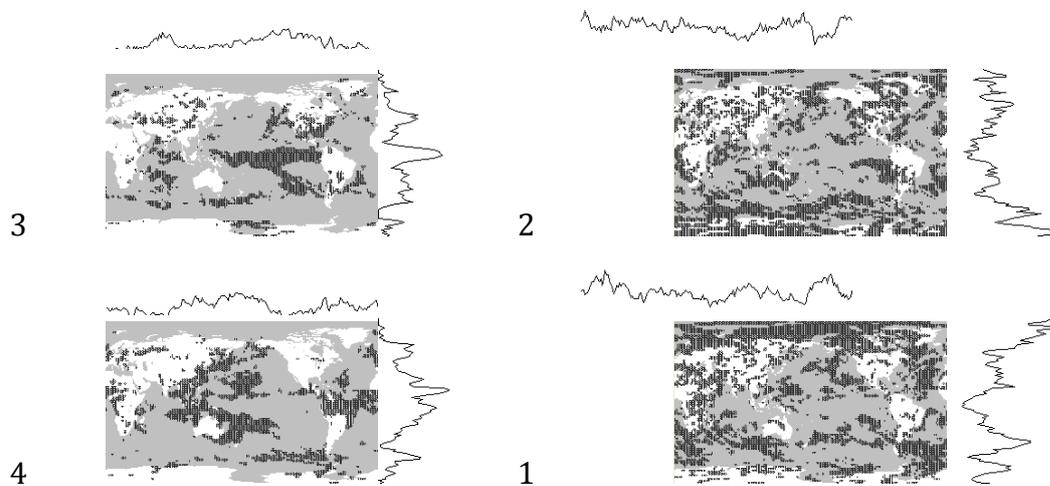


Figura 5. Campos de asociación entre los patrones sintetizados por la red y las series originales. Cortes zonal (arriba) y meridional (derecha) A la izquierda se indica el número de neurona.

Los máximos secundarios de representatividad en las neuronas 3 y 4 en latitudes medias se ubican zonalmente en forma complementaria con los observados en bajas latitudes. La neurona 1, también con predominio de representatividad en latitudes medias, tiene mayor expresión sobre altas latitudes del hemisferio norte, en especial en el Ártico, y en latitudes medias del hemisferio sur.

Con el fin de lograr una mejor resolución de este proceso, se analiza su evolución en la tercera capa de la red. En la figura 6 se presenta la tercera capa y la secuencia de fases a partir de la neurona 6 en línea delgada. Puede notarse que se cierra un ciclo a lo largo de una línea sinuosa, pero que si se destaca las neuronas que representan los máximos ecuatoriales de amplitud (6-13-1-14-15-10-6), la secuencia de neuronas representativas en la red es singularmente ordenada y enmarcada por secuencias laterales. El grupo ordenado 3-2-9-4-16-3 manifiesta en las neuronas 2 y 9 a los 16 y 36 meses máximos de representatividad sobre latitudes polares sur y norte respectivamente.

En la serie de mapas de la figura 7 se presenta la evolución espacial de la señal de 4.8 años. Se indica a la izquierda el número de neurona y el tiempo en meses desde la etapa inicial caracterizada como 00. A la derecha se muestran los cortes zonal y meridional de la distribución geográfica y finalmente en el extremo derecho la amplitud de la señal en milímetros de anomalía en la precipitación.

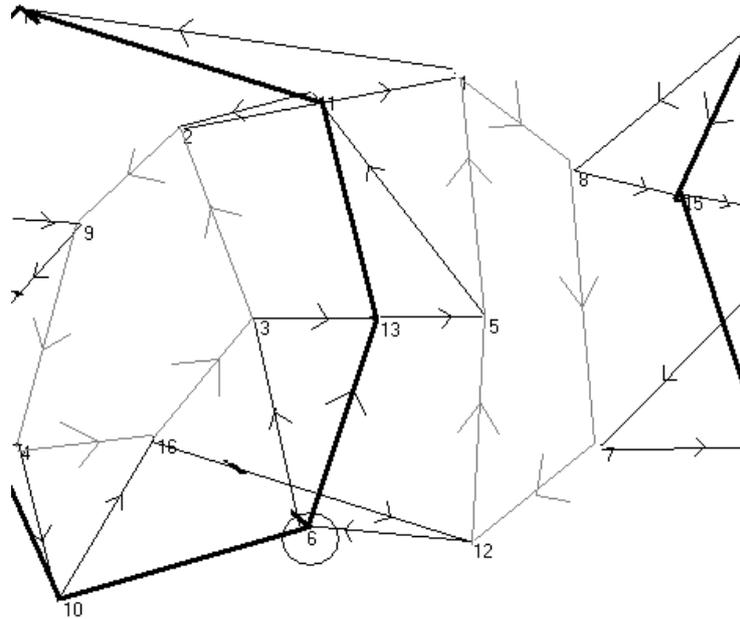
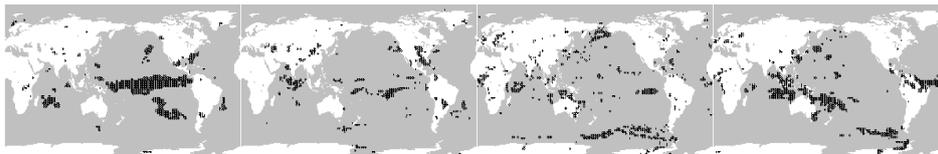
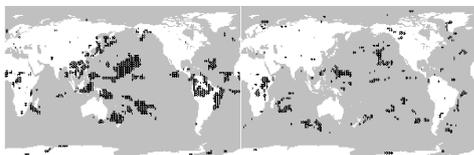


Figura 6. Tercera capa de la red neuronal. Se indica el número de neurona, la secuencia de fase con flechas, se destaca en línea gruesa la secuencia representativa de la banda ecuatorial y la neurona 6 como inicio del proceso de 4.8 años.



06 00 meses 7.4mm 13 06 meses 6.2mm 01 17 meses 4.1mm 14 23 meses 5.2mm



15 33 meses 4.8mm 10 49 meses 4.4mm

Figura 7. Evolución espacial de la señal de 4.8 años en el lazo central de la tercera capa de la red. Se indica el número de neurona, el retardo en meses con respecto al origen en la neurona 6 y la amplitud de la señal en milímetros.

El ciclo de cuatro años y medio a cinco años, que hemos caracterizado como de 4.8 años, se asume arbitrariamente que tiene inicio en el Pacífico central por ser la región donde expresa la máxima amplitud de 7.4mm a través de la neurona 6. El máximo coincide con la concentración de anomalías sobre la región ecuatorial, según se aprecia en las neuronas 6, 14 y 15. Es notable observar que el patrón correspondiente a esta distribución de anomalías configura una estructura bipolar sobre la banda ecuatorial: el máximo sobre el centro y este del Pacífico ecuatorial al comienzo del ciclo se contrapone en la secuencia al máximo sobre el Pacífico occidental, Indonesia, Brasil y el Atlántico en la mitad del proceso.

El lazo conformado por las neuronas 3, 2, 9, 4 y 16 (no mostrado en las figuras) describe un proceso en latitudes medias y altas que alcanza las regiones polares casi un año y medio después del inicio en el centro del Pacífico en el hemisferio sur y tres años más tarde en el



hemisferio norte. En el lazo formado por las neuronas 5, 1, 8, 7 y 12 de la red (no mostrado en las figuras) se observa el proceso en latitudes medias.

En la segunda capa de la red, que se muestra en la figura 8, se observa la misma estructura que en la tercera pero con mayor detalle en la resolución espacial y temporal del proceso. Las líneas rojas unen momentos de igual fase, las gruesas en intervalos anuales y las delgadas en intervalos de seis meses. En la proyección cilíndrica de una red esférica las líneas negras representan un círculo cerrado desplazado con respecto a una línea central que divide la red en dos mitades. El proceso en la banda ecuatorial, indicado en línea más gruesa, se inicia en la neurona 15, correspondiente al Pacífico central ecuatorial. Este lazo cerrado, que representa el proceso en zonas de máxima precipitación, divide la red superficial en dos áreas no conexas. Estas áreas representan esencialmente la parte de la evolución en latitudes medias y altas, cuyo desarrollo se muestra por medio de líneas negras más delgadas ubicándose las regiones polares en las neuronas 5 y 11.

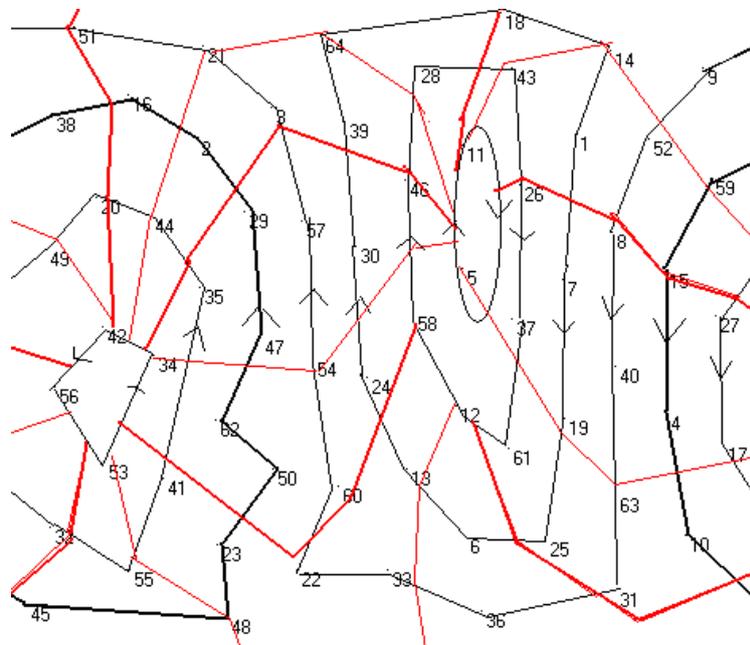


Figura 8. Segunda capa de la red neuronal. Se indica el número de neurona, la secuencia de fase con flechas, se destaca en línea gruesa la secuencia representativa de la banda ecuatorial, la neurona 15 como inicio del proceso de 4.8 años y se trazan en rojo líneas de igual fase destacando en trazo más grueso el periodo anual.

Puede verse aquí que la organización por vecindad de la red neuronal permite ordenar la estructura espacial del proceso en términos de la secuencia temporal de fase condicionada por las amplitudes. La limitación de espacio no permite el análisis detallado de la segunda capa.

En la figura 9 se presenta el proceso en la primera capa de la red. La línea negra más destacada representa la secuencia sobre la banda ecuatorial mientras que las líneas negras delgadas acompañan esta evolución en latitudes medias y altas. Las líneas rojas destacan las fases en intervalos de seis meses, las más gruesas corresponden al intervalo anual y la línea roja más gruesa indica el inicio intersectando a la línea gruesa negra en la neurona 170 como comienzo del proceso. En la figura 10 se presenta las líneas de igual amplitud sobre la



primera capa de la red para 15mm, 10mm, 5mm y 1mm de precipitación. La máxima anomalía se registra en la neurona 170 (abajo a la derecha) con 17.3mm y representa la anomalía de precipitación reconstruida en la escala de 4.8 años en el Pacífico ecuatorial central. Un segundo máximo se ubica en la parte superior izquierda del orden de 11mm y representa las anomalías sobre Indonesia y el Pacífico occidental. Entre estos dos máximos evoluciona el proceso sobre la banda ecuatorial.

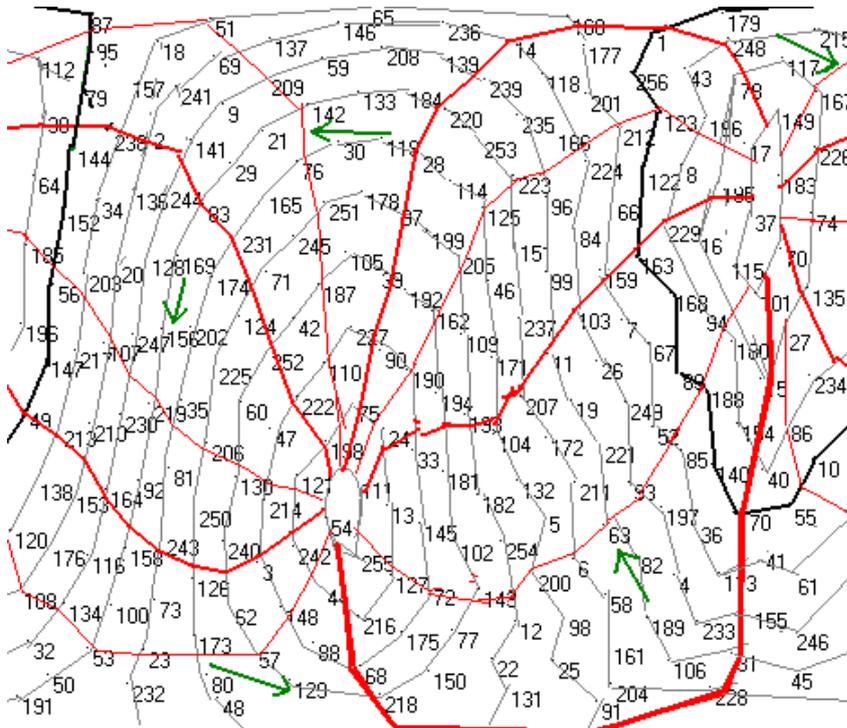


Figura 9. Primera capa de la red neuronal. Se indica el número de neurona, la secuencia de fase con flechas, se destaca en línea gruesa la secuencia representativa de la banda ecuatorial, la neurona 170 como inicio del proceso de 4.8 años y se trazan en rojo líneas de igual fase destacando en trazo más grueso el período anual.

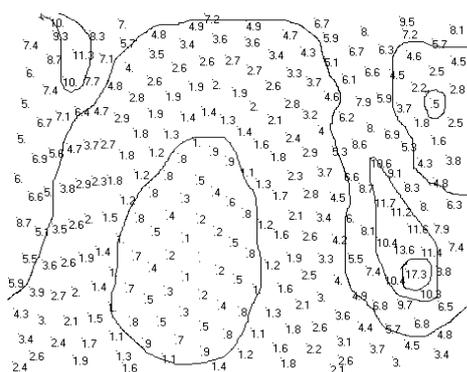


Figura 10. Líneas de igual amplitud en la primera capa de la red neuronal. Se indican líneas de 1mm, 5mm, 10mm y 15mm. Se identifica el máximo de amplitud en la neurona 170 con 17.3mm.

Si se sigue con mayor detalle la evolución del proceso en la primera capa de la red (figura 11), se observa que la neurona cuya serie temporal presenta un máximo de amplitud corresponde a una región ubicada en el Pacífico central ecuatorial. La ubicación temporal de la fase puede caracterizarse por medio de un máximo a fines de 1972 (Neurona 170). Si se asume esta perturbación como inicio de la secuencia de un proceso, podemos desarrollarlo en



términos de fases a través de retardos con respecto a esta fase inicial. La secuencia puede observarse en la red y corresponde a las neuronas 170, 140, 188, 89, 168, 163, 122, 123, 256, 1, 179, 87, 95, 79, 144, 152, 56, 147, 49, 10 y 55 (los subrayados representan desplazamientos anuales). Se observa tres meses después del inicio un desplazamiento zonal de los máximos de anomalía tanto hacia el este como hacia el oeste sobre el Pacífico ecuatorial a la vez que la amplitud de la oscilación disminuye (Neurona 140). Casi cinco meses después, la oscilación se ha dispersado sobre la banda ecuatorial del Pacífico con mayor incidencia sobre el borde occidental y ha avanzado sobre el Caribe (Neurona 188). Siete meses más tarde, en un arco que se extiende sobre todo el Pacífico ecuatorial pero predominantemente al sur de la región de inicio del proceso, la oscilación alcanza levemente el sur de EEUU pero también algunas regiones al norte de la India y en Irán (Neurona 89). Casi diez meses después, aún disminuyendo la amplitud, persiste sobre el Pacífico central pero se define mejor sobre Asia Central y el continente americano, y comienza a evidenciarse en el Océano Índico (Neurona 168). Al finalizar el primer año se diluye la presencia de la oscilación sobre el Pacífico, la amplitud se ha reducido a unos 8mm, pero se define sobre el Índico al sur de la India y sobre el continente americano (Neurona 163). Simultáneamente alcanza su máxima extensión en áreas anticiclónicas frente a Angola, frente al norte de Chile y en la Antártida (Neurona 111). Un año y tres meses después, se expresa con mayor claridad sobre el Índico y América (Neurona 122). Casi un año y medio después del inicio se alcanza un mínimo de intensidad en la banda ecuatorial y se incrementa la definición sobre Indonesia (Neurona 123), pero la perturbación ha alcanzado a todo el Globo. Al año y ocho meses se manifiesta la oscilación sólo sobre Indonesia y el Índico (Neurona 256). Casi dos años después, se incrementa nuevamente la amplitud, persiste sobre Indonesia y el Índico pero también comienza a manifestarse sobre el Atlántico ecuatorial (Neurona 1). Al pasar los dos años, persiste sobre Indonesia con amplitud en aumento pero se define más claramente sobre el Atlántico ecuatorial frente a Brasil (Neurona 179). Dos años y cuatro meses tras el inicio, la amplitud sigue en aumento expresándose sobre el Nordeste de Brasil, parte del Amazonas y sobre Indonesia (Neurona 87). Al cabo de dos años y medio, se establece sobre Indonesia y el Amazonas pero desplazándose hacia el Pacífico y la parte occidental del Amazonas (Neurona 95). Dos años y nueve meses más tarde, predomina sobre el Amazonas y norte de Sudamérica, el este de Indonesia y se desplaza al Pacífico central pero al norte de la línea ecuatorial (Neurona 157). Tres años después, la oscilación se desplaza al Pacífico nuevamente desdibujándose sobre Sudamérica (Neurona 238) hasta alcanzar una amplitud de 10mm. Tras tres años y tres meses, se expresa de modo difuso sobre el Pacífico occidental pero también sobre África ecuatorial central y en torno a las costas de Brasil con amplitud en disminución (Neurona 152). Desde Indonesia la señal comienza a desplazarse hacia el este y, desde el Amazonas, hacia el oeste sobre el norte de Sudamérica. Más de tres años y medio tras el inicio se observa de modo poco definido sobre el Pacífico tropical occidental y algunas otras regiones de Sudamérica y África (Neurona 56). Casi cuatro años después persiste en el Pacífico occidental, África ecuatorial oriental y localmente sobre Sudamérica con amplitud



otra vez en aumento (Neurona 49). Cuatro años y tres meses tras el inicio, se observa de modo indefinido en el Pacífico central tropical, en el Índico, África ecuatorial oriental y en torno a Sudamérica (Neurona 10). Al cabo de cuatro años y medio, concentrándose otra vez sobre el Pacífico ecuatorial central y con amplitud en aumento, también se observa sobre el Índico cerca de Madagascar y aun en África ecuatorial oriental y cerca de Brasil (Neurona 55).

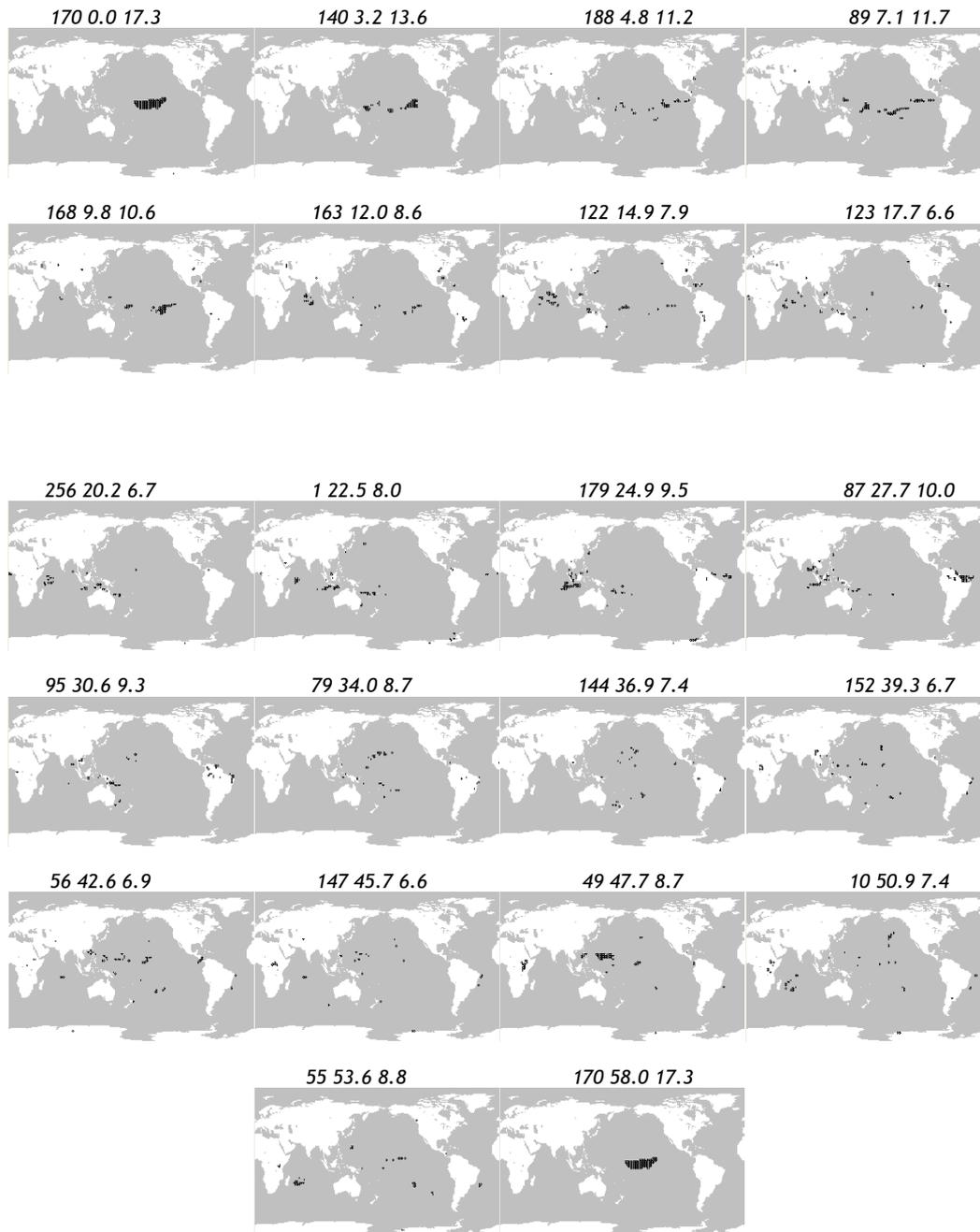


Figura 11. Secuencia de distribución del máximo de amplitud en la evolución de la fase de la señal de 4.8 años en la primera capa de la red. En la parte superior de cada mapa se indica el número de neurona, la fase y la amplitud.

Los otros lazos definidos en la red, no mostrados las figuras, permiten describir la evolución del proceso en latitudes medias y altas. Durante el primer año la señal se expande predominantemente sobre el Pacífico oriental pero también con leve retraso, de modo secundario y menos definido, sobre Indonesia y el Índico. Poco después de un año la señal



alcanza las condiciones más extremas sobre Antártida, en el Océano Pacífico frente al norte de Chile y en el Atlántico frente a Angola. El segundo año está caracterizado por anomalías dispersas sobre Indonesia, el Índico y el Pacífico occidental con un singular núcleo en el Pacífico sur al sudoeste de Chile. Predomina un desplazamiento de la señal hacia el sur hasta mediados del segundo año, definiendo una banda en la región circumpolar antártica, próxima al límite antártico del Pacífico sur entre Nueva Zelanda y Chile. En torno al tercer año la señal se ubica preferentemente sobre el Pacífico occidental convergiendo luego hacia el Pacífico central, detectándose también sobre el Atlántico y el Amazonas. Entre 30 y 36 meses se observa un núcleo de anomalías sobre el Pacífico sur. También se expresa, aunque de modo menos definido, sobre el Pacífico norte entre Kamchatka y Alaska. La máxima extensión hacia el hemisferio sur se alcanza a mediados del tercer año. A los 33 meses se manifiesta un máximo de señal en el Ártico alcanzando la mayor expansión hacia el norte. Durante el cuarto y año hasta finalizar el proceso, las anomalías se extienden desde el Pacífico occidental hacia el Pacífico central. Pasado el cuarto año la señal es más definida en el Ártico alcanzando la máxima expansión hacia el norte.

El proceso en la región ecuatorial es el que parece conducir la energía asociada al ciclo, por lo que sintetizamos en cinco etapas su evolución sobre el círculo ecuatorial. Una primera fase de expansión desde el Pacífico central (figura 12) dura 13 meses (neuronas 170, 140, 188, 89, 168 y 163). Puede subdividirse en dos etapas, la primera de expansión rápida (neuronas 170, 140 y 188) y la segunda moderada o lenta (neuronas 89, 168 y 163). En una segunda etapa (neuronas 122, 123 y 256) entre 13 y 21 meses la señal alcanza un mínimo de amplitud (6mm en la neurona 123). La tercera fase, que involucra las neuronas 1, 179 y 87, se extiende entre los 23 y 29 meses completando la mitad del periodo de 4.8 años. La cuarta fase involucra las neuronas 95, 79, 144 y 152 describe el proceso entre 29 y 41 meses. La quinta etapa cierra el proceso y es representada por las neuronas 56, 147, 49, 10 y 55 entre 42 y 58 meses.

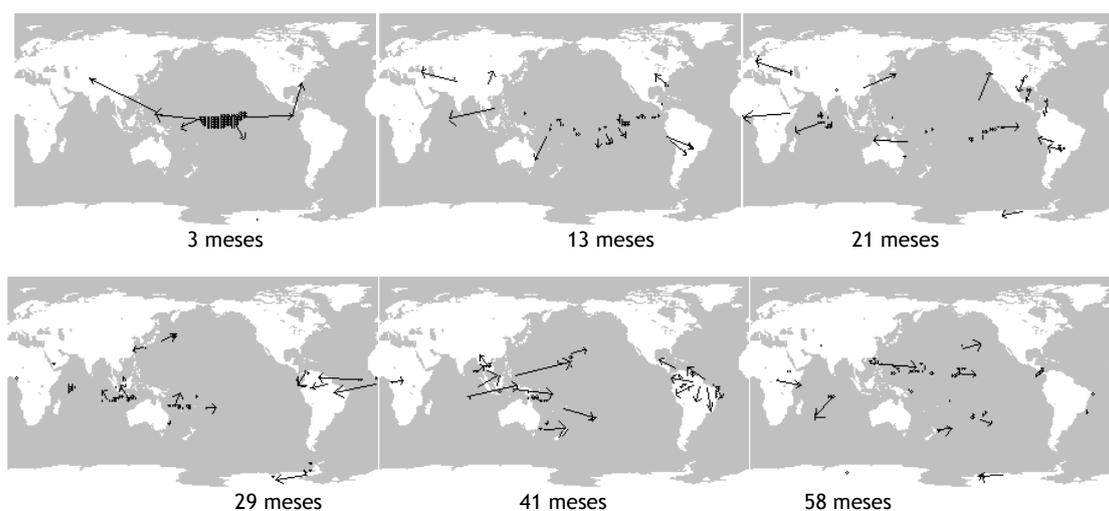


Figura 12. Síntesis de la evolución de la señal.

En primer lugar la señal se desplaza hacia el oeste desde el máximo de amplitud en el Pacífico central hasta detenerse con un máximo sobre Indonesia y se propaga hacia el este



alcanzando un segundo máximo sobre el Amazonas. En una segunda etapa, la señal se expande sobre el Amazonas, aunque sin exceder el ámbito del continente sudamericano, y simultáneamente se realiza una expansión desde Indonesia y el Sudeste Asiático hacia África, Japón y Europa. Luego la señal que se propagó sobre África alcanza Brasil a través del Atlántico a la vez que en el Pacífico occidental comienza a desplazarse hacia el este. Mientras se expande desde el Nordeste de Brasil hacia el oeste y el sur sobre el Amazonas, desde el Pacífico occidental continúa la propagación hacia el este. En una última etapa, se concentra la señal en el Pacífico central al finalizar el ciclo mientras el desplazamiento sobre África cambia de sentido hacia el este.

Sudamérica parece presentarse a modo de una barrera donde el avance hacia el este de la señal originada en el Pacífico central se detiene y bifurca hacia el sur de Brasil y hacia el este de Estados Unidos. Al cabo de unos 20 meses es la señal que se había propagado hacia el oeste la que alcanza Sudamérica desde el Atlántico. Al cerrar la primera mitad del ciclo es esta señal la que parece renovarse sobre el Amazonas expandiéndose hacia el oeste a la vez que la nueva señal generada en Indonesia avanza hacia el este, hacia el Pacífico central, donde parece detenerse para regenerar un nuevo máximo en el centro ecuatorial del Pacífico.

CONCLUSIONES

A partir de una red neuronal esférica conformada por una capa sensible que recibe señales temporales de anomalías absolutas en la precipitación reconstruidas por el armónico de Fourier que corresponde a una señal de 4.8 años, se organizó el conjunto de señales destacándose en la red líneas cerradas que conectan las neuronas vinculadas a cada etapa de la fase del proceso. Estas líneas cerradas, proyectadas sobre el Globo, permiten seguir la evolución geográfica de la señal de 4.8 años.

En esta evolución puede verse que, si se toma como inicio o referencia el máximo de amplitud, registrado en el Pacífico ecuatorial central, durante los tres primeros meses se observa una rápida expansión de la señal de 4.8 años hacia Indonesia y el Índico a la vez que hacia el Amazonas y el Caribe. Durante el resto del primer año la expansión zonal de la señal continúa lentamente y se acopla una extensión meridional hacia el sur aunque sin exceder el trópico de Capricornio. El segundo año la señal comienza a expandirse hacia el norte en latitudes medias, zonalmente atraviesa África hasta el Atlántico y desde el sur del Amazonas y desde el Caribe parece desplazarse en dirección oeste como retornando hacia el Pacífico oriental. Durante el tercer año la señal que atravesó África alcanza Sudamérica a través del Atlántico mientras que por otra parte parece retornar hacia el Pacífico desde Indonesia hacia el este. El cuarto año la señal se expresa sobre el Amazonas y parece expandirse hacia el sur y el oeste sobre el norte de Sudamérica mientras que se intensifica el retorno desde Indonesia hacia el Pacífico central. Este retorno se configura de un modo disperso hacia el centro del Pacífico ecuatorial al cerrar el ciclo predominantemente desde el occidente de la cuenca.

**BIBLIOGRAFÍA**

- [1] F.J. Álvarez-García, P.M. Lorente-Lorente, M.J. Ortiz Bevia; Quasi-quadriennial variability in European precipitation International Journal of Climatology (Published online:17 MAY 2011 DOI: 10.1002/joc.2351
<http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/joc.2351/supinfo>)
- [2] A. Björn, W. Amos Climate Zonation in Puerto Rico Based on Principal Components Analysis and an Artificial Neural Network (1999). Journal of Climate, Volume 12, Issue 4
- [3] M. Cogliati, P. Britos, R. García-Martínez 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] J. Fayos, C. Fayos; 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. PMID: PMC1790699
- [5] M Hall, A Minns, A Ashrafuzzaman; The application of data mining techniques for the regionalisation of hydrological variables (2002). Hydrology and Earth System Sciences, 6(4), 685-694
- [6] GE Hinton, JL McClelland; Learning Representation by Recirculation (1988). American Institute of Physics. Proc. IEEE Conf on Neural Information Processing Systems, Nov. 1988. pp. 358-366.
- [7] N Jiang, JD Neelin, M Ghil (1995) Quasi-quadriennial and quasi-biennial variability in the equatorial Pacific. Climate Dynamics 12:101-112.
- [8] D Kilpatrick, R Williams; 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
- [9] M Kimoto; Studies of climate variability using general circulation models (2001) En: Present and Future of Modeling Global Environmental Change: Toward Integrated Modeling, Eds., T. Matsuno and H. Kida, pp. 49-62. TERRAPUB, 2001.
- [10] T Kohonen; Self Organizing Maps (2001) (3° ed.) USA, Springer. (Caps. 3, 4 y 5)
- [11] S Michaelides, C Pattichis; Classification of rainfall distributions with the use of Artificial Neural Networks Proceedings: 4th Panhellenic Conference on Meteorology, climatology and Atmospheric Physics. Athens, Greece, September 1998. pp. 251-256.
- [12] A Steynor, B Hewitson; 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.
- [13] YM Tourre, D Rousseau, L Jarlan, E Le Roy Ladurie, V Daux; Western European climate, and Pinot noir grape harvest dates in Burgundy, France, since the 17th century (2011) Climate Research Vol. 46: 243-253, 2011 doi: 10.3354/cr00991



- [14] I Turiasa, M González, PA Galindoa; Competitive neural network approach for meteorological situation clustering. *Atmospheric Environment* (2006), Volume 40, Issue 3, January 2006, Pages 532-541.
- [15] WM Vargas, DA Huggenberger; 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
- [16] WM Vargas, DA Huggenberger; Una clasificación global de espectros de precipitación por medio de un mapa auto organizado de redes neuronales (2010). Sexto encuentro del International Center for Earth Sciences E-ICES 6. 4 a 8 octubre 2010.



Una Posible Relación entre una Oscilación Casi Cuadrienal en la Precipitación y la Oscilación Casi Bienal Estratosférica

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.*

dhuggenberger@frd.utn.edu.ar

RESUMEN

A través del ordenamiento en un mapa auto organizado de redes neuronales esférico de cuatro capas de Kohonen puede seguirse la evolución de una señal de 4.8 años en la precipitación en torno a la banda ecuatorial. Esta oscilación puede ser asociada con la oscilación casi bienal estratosférica (QBO). A modo de hipótesis se propone que la distribución de la inyección de momento por medio de ondas de gravedad generadas en procesos convectivos sobre la banda ecuatorial da lugar a modos estacionarios de fluctuación de la QBO configurando una oscilación estable conjuntamente con anomalías en la precipitación en escala de 4.8 años. Esta hipótesis se fundamenta en que en los extremos de intensidad de la señal hay un predominio de vientos del este en 30hPa con aceleración hacia el este hasta 1970 y hacia el oeste desde principios de la década de 1970, cuando también se observa un cambio en el perfil vertical de vientos. Este cambio coincide con una variación en la serie de anomalías sobre la banda ecuatorial. Durante los procesos de cambio de signo de la señal en el Pacífico central se registra una circulación de vientos del oeste con aceleración hacia el este. Entre los modos estacionarios posibles para la variabilidad en la QBO el más verosímil parece ser una fluctuación meridional en la forma de la QBO acoplada con la convergencia intertropical (ZCIT).

Palabras clave: Variabilidad climática, precipitación, redes neuronales, mapas auto organizados, oscilación casi bienal estratosférica, oscilación casi cuadrienal.

INTRODUCCIÓN

En los últimos años se ha detectado una oscilación en la escala de cuatro a cinco años que se ha dado en llamar oscilación casi cuadrienal (quasi-quadriennial oscillation QQO). En el Pacífico oriental Jiang (1995) detecta un ciclo de 52 o 53 meses como el que contiene la señal más relevante que contribuye con un 28.5% de la variabilidad a la señal de Niño 3 y presenta máximos de amplitud en 1957/8, 1969, 1972/3, 1982/3 y 1986/7. Oscilaciones en torno a cuatro años se registran sobre regiones de Europa en la precipitación, la presión al nivel del mar y la temperatura en superficie del mar (Álvarez-García, 2011). En series paleoclimáticas se ha identificado una variabilidad en el orden de cuatro años sobre Europa occidental (Tourre et al., 2011). Kimoto (2001) halla oscilaciones en torno a cuatro años en la cuenca del Pacífico tropical a través de modelos de circulación general.



Tras haber observado que la señal más relevante en la precipitación global en torno a los cinco años responde a un período del orden de 4.8 años (Vargas, 2010), se ha reconstruido series de anomalías absolutas en la precipitación a través del armónico correspondiente a tal período. Con el objeto de seguir la evolución de la fase de la señal de 4.8 años se recurrió a la organización de un patrón de señales por medio de mapas auto organizados de redes neuronales (Kohonen, 2001). Se ha diseñado una red esférica de cinco capas a los fines de organizar, caracterizar y clasificar patrones de variabilidad climática en las anomalías absolutas de precipitación global. En otro trabajo (Vargas, 2009) hemos mostrado cómo esta red funciona y descripto sus características. En esta aplicación se utiliza el mapa de red para organizar una señal conformada por un único armónico senoidal generado a partir de series de anomalías absolutas en la precipitación total mensual obtenida de reanálisis en puntos de grilla. Este armónico difiere sólo en fase y amplitud en cada punto de grilla, lo que en la red esférica se expresa por medio de lazos cerrados sobre la superficie de la red. Desde estos lazos cerrados trazados en las capas interiores se proyecta sobre la capa externa o sensible para obtener la evolución geográfica de la fase de la señal sobre el Globo. El proceso de evolución de esta señal se ha presentado en un trabajo que acompaña y precede al presente (Vargas, 2012) aunque se ha procurado que su lectura pueda realizarse en forma independiente.

Es casi natural preguntarse si la oscilación casi bienal (QBO) está de alguna manera vinculada con la QOO. La QBO (Baldwin, 2001) es una fluctuación en el régimen de vientos zonales ecuatoriales estratosféricos que alterna entre vientos del este a vientos del oeste con un período variable en torno a los 28 meses (2.3-2.4 años) en un rango de 22 meses (1.8 años) a 34 meses (2.8 años). La dinámica que sostiene la QBO está vinculada con la inyección de momento a través de ondas de gravedad generadas por procesos convectivos predominantemente en la banda ecuatorial. Se ha observado vinculaciones entre la QBO y la actividad en huracanes en el Atlántico (Gray, 1984; Shapiro, 1989; Elsner, 1999). Fontaine et al. (1995) hallaron una asociación entre los regímenes de precipitación sobre África y la QBO. Collimore et al. (1998) ha buscado correlaciones entre la QBO y la convección profunda en regiones de fuerte actividad convectiva.

En una primera parte del trabajo se describe sucintamente la metodología y fuente de datos. En una segunda parte se sintetiza los resultados que describen la evolución de la señal de 4.8 años en torno a la banda ecuatorial alrededor del Globo. En la tercera parte se establece una posible vinculación entre la expresión de una QOO en la precipitación y la QBO cerrando la cuarta parte con 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 por extracción de la onda anual media reconstruidas por medio del armónico once 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 la lluvia acumulada mensualmente en cada punto de grilla. Es sabido que la precipitación es una de las variables menos confiablemente calculada y pronosticada, pero de todas maneras el reanálisis de precipitación contiene considerable información acerca del patrón de lluvias cubriendo regularmente el Globo.

Se utiliza una red bidimensional de cinco capas de neuronas equidistantes en términos angulares en la superficie de una esfera. Una primera capa de neuronas sensibles transfiere los estímulos como sensación a la capa de neuronas internas. Esta capa sensible o externa se configura con 18142 puntos de grilla sobre la superficie de la Tierra y los estímulos se expresan como series temporales correspondientes a esos puntos de grilla. La primera capa interna y segunda de la red contiene 256 neuronas dispuestas sobre una superficie esférica. Una tercera capa, configurada con 64 neuronas, es entrenada por medio de las series temporales sintetizadas en la segunda capa de la red. Una cuarta capa de 16 neuronas es entrenada tomando como ejemplos las series de la tercera. La capa más profunda, con 4 neuronas, recibe como estímulos las series resultantes en la cuarta conformando el patrón más abstracto de la red. Las ubicaciones se definen por medio de vectores de módulo unitario que identifican la localización de las neuronas de la red (Vargas, 2009). Se aplicará el procedimiento de recirculación al entrenamiento de la red (Hinton, 1988). La síntesis que representa el patrón que tipifica la serie temporal se proyecta sobre las series originales reconstruyendo patrones espaciales homogéneos en términos de la serie temporal representativa.

Las series originales, de las que se ha filtrado el ciclo anual por medio de la media mensual de todo el período, se reconstruyen por medio del armónico once de Fourier obteniendo una señal senoidal de 4.8 años (58 meses). Se trata de una señal armónica rígida pero simple cuyo ordenamiento en la topografía de la red sólo está asociado a la fase y la amplitud. Sobre el Pacífico central se ha reconstruido parcialmente la serie de anomalías absolutas por medio de un par oscilatorio a partir de las componentes principales obtenidas por análisis espectral singular. Esta reconstrucción se ha comparado con la señal de 4.8 años reconstruida por análisis armónico.



RESULTADOS

La secuencia de imágenes de la figura 1 sintetiza la evolución de la señal de 4.8 años sobre la banda ecuatorial (Ver “Evolución de una Oscilación Casi Cuadrigenal...” en el presente volumen)

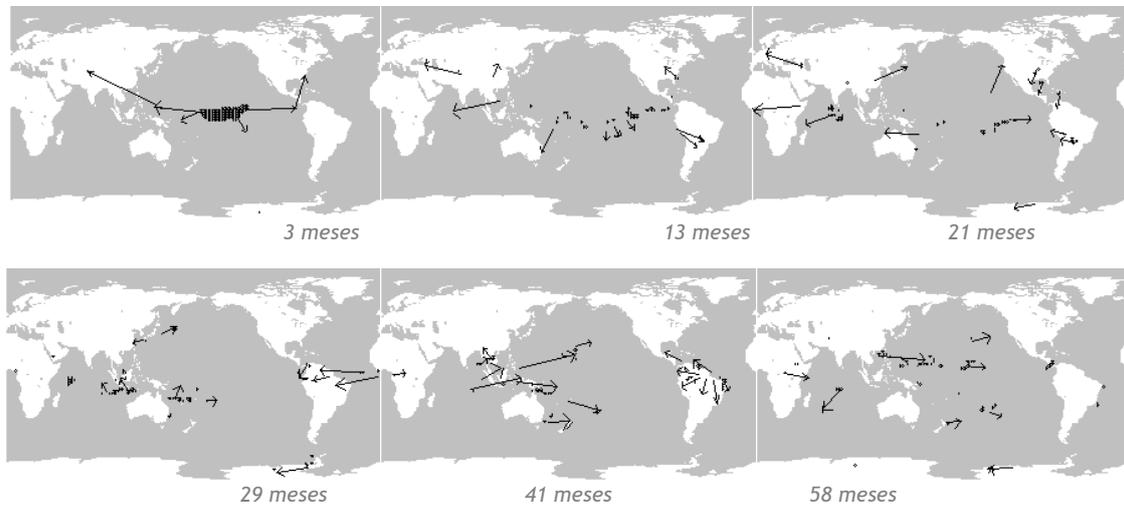


Figura 1. Síntesis de la evolución de la señal de 4.8 años.

El proceso en la región ecuatorial es el que parece conducir la energía asociada al ciclo. En primer lugar la señal se desplaza hacia el oeste desde el máximo de amplitud en el Pacífico central hasta detenerse con un máximo sobre Indonesia y por otra parte se propaga hacia el este alcanzando un segundo máximo sobre el Amazonas. En una segunda etapa, se expande sobre el Amazonas, aunque sin exceder el ámbito del continente sudamericano, y simultáneamente se realiza una expansión desde Indonesia y el Sudeste Asiático hacia África, Japón y Europa. Luego la señal que se propagó sobre África alcanza Brasil a través del Atlántico a la vez que en el Pacífico occidental comienza a desplazarse hacia el este. Mientras se expande desde el Nordeste de Brasil hacia el oeste y el sur sobre el Amazonas, desde el Pacífico occidental continúa la propagación hacia el este. En una última etapa, se concentra la señal en el Pacífico central al finalizar el ciclo mientras el desplazamiento sobre África cambia de sentido hacia el este. Sudamérica parece presentarse a modo de una barrera donde el avance hacia el este de la señal originada en el Pacífico central se detiene y bifurca hacia el sur de Brasil y hacia el este de Estados Unidos. Al cabo de unos 20 meses es la señal que se había propagado hacia el oeste la que alcanza Sudamérica desde el Atlántico. Al cerrar la primera mitad del ciclo es esta señal la que parece renovarse sobre el Amazonas expandiéndose hacia el oeste a la vez que la nueva señal generada en Indonesia avanza hacia el este, hacia el Pacífico central, donde parece detenerse para regenerar un nuevo máximo en el centro ecuatorial del Pacífico.

A partir de las anomalías absolutas de precipitación total mensual se realizó otra organización de la precipitación global (Vargas, 2009). De esta organización sólo se muestra una síntesis en una neurona (231) que representa las anomalías en el Pacífico central ecuatorial. En la figura 2 podemos ver la región representada por la neurona 170 en la red que clasifica el proceso senoidal de 4.8 años a la izquierda y, a la derecha, la neurona 231 que representa las



anomalías absolutas en la precipitación en el Pacífico central. La coincidencia entre ambos patrones espaciales muestra la singularidad que expresa la región.

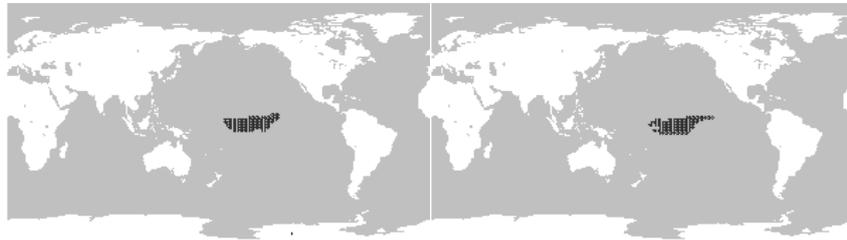


Figura 2. Representatividad espacial de la neurona 170 (izquierda) y representatividad de la serie temporal sintetizada a partir de anomalías absolutas (derecha, neurona 231)

La serie temporal sintetizada en la neurona representativa de las anomalías absolutas en el Pacífico central fue reconstruida en componentes principales por análisis espectral singular (Ghil, 2002 Vautard, 1989 Unal, 1995) con una matriz de autocorrelación de dimensión 72. La primera componente, que se presenta en la figura 3 conjuntamente con la serie temporal representativa del Pacífico central, contiene el 48.4% de la varianza y sintetiza un máximo a comienzos de la década de 1960 y el cambio a un predominio de mínimos a partir de 1973. Es notable que los máximos singulares de las décadas de 1980 y 1990 destaquen sobre una media de anomalías negativas pero sin superar los valores observados a finales de la década de 1950 y principios de la de 1960.

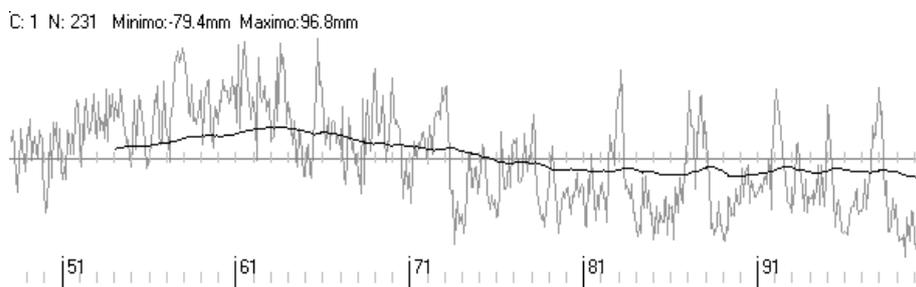


Figura 3. Serie temporal representativa del Pacífico ecuatorial central y primera componente por SSA (lag 72)

En la figura 4 se muestra la serie temporal de anomalías y la reconstrucción por medio de las componentes 2 y 3 por SSA. Precisamente cuando hay una reducción de la media en la precipitación, los máximos resultan más extremos y acoplados con la señal oscilatoria senoidal, como si se tratase de un pulso que fuerza un disparo de precipitación en el Pacífico central, disparo que con anterioridad quedaba sumergido en una media más elevada de precipitación en la región. Las componentes 2 y 3 de la descomposición ortogonal por SSA configuran un par oscilatorio que contiene el 12.8% de la varianza en un doblete de 6.6% y 6.2%. Los máximos espectrales de esta reconstrucción, analizados por medio de un espectro de Blackman-Tukey, corresponden a un período de casi cinco años como dominante acoplado con otro de poco más de tres años y medio y un tercero de casi tres años. El máximo de anomalía positiva reconstruida por SSA se observa a comienzos de 1991 con 12.0mm mientras que el mínimo se registra a comienzos de 1989 con -9.9mm.



C: 1 N: 231 Mínimo:-79.4mm Máximo:96.8mm

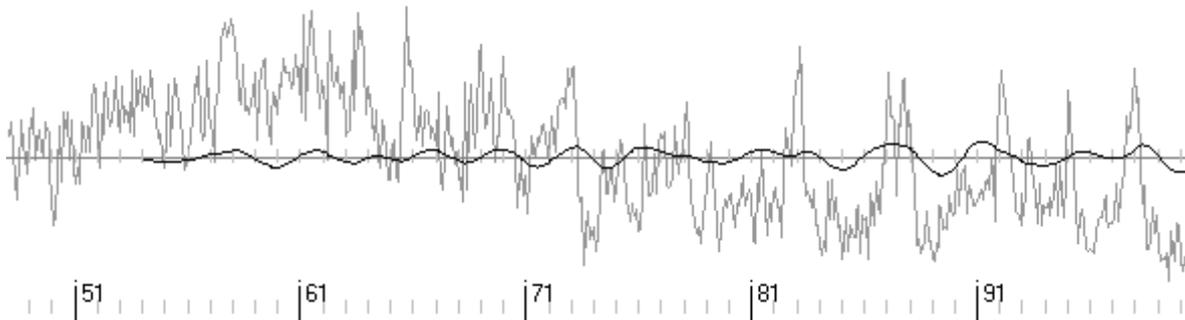


Figura 4 Serie temporal representativa de las anomalías absolutas en el Pacífico ecuatorial central y su reconstrucción por medio de las componentes 2 y 3 por SSA con lag 72.

Posible vinculación entre la oscilación casi bienal y el ciclo de 4.8 años

No es posible evitar la asociación intuitiva entre la oscilación casi bienal estratosférica (QBO) debido a que el ciclo descrito casi duplica el período de la QBO. Sin embargo esta simple observación no es suficiente para justificar una vinculación física entre ambos procesos. La figura 5 superpone la reconstrucción por el 11° armónico de la serie de anomalías absolutas en la neurona 170 de la red con una serie de la QBO. El promedio de la QBO vale -3.4, el máximo 15.6 y el mínimo -28.7. Puede notarse que predominan los extremos de la serie oscilatoria de anomalías en los mínimos de la QBO hasta 1970 pero desde entonces en los momentos de cambio de fase de la QBO de valores negativos a positivos. Por otra parte, los cambios de signo de la serie oscilatoria se localizan en los momentos de máximo de la QBO o de cambio de signo de fase positiva a negativa en la QBO.

C: 1 N: 170 Mínimo:-17.3mm Máximo:17.3mm

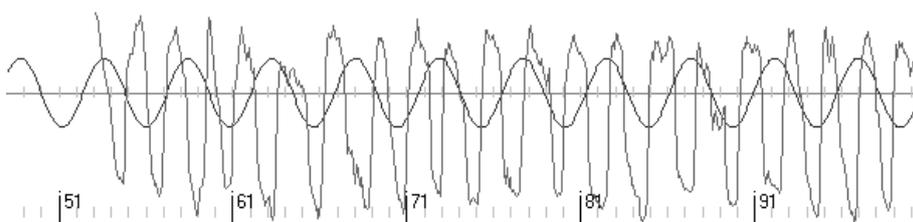


Figura 5. Oscilación casi bienal estratosférica y señal senoidal en la neurona 170. No se indica escala vertical debido a que el interés se centra en la relación de fases entre la QBO y la señal senoidal. (QBO como promedio zonal del viento zonal en 30hPa en el ecuador obtenido a partir de reanálisis del NCEP/NCAR resultante de una concatenación de valores de viento zonal al nivel de 30hPa en la región ecuatorial que extiende el registro de la QBO entre enero de 1953 hasta septiembre de 2001. Entre enero de 1953 hasta agosto de 1967 los datos provienen de las Islas Cantón (3°S - 172°W). Entre septiembre de 1967 y diciembre de 1975 provienen de Maldivas (1°S - 73°E). Entre enero de 1976 y septiembre de 2001 se obtienen en Singapur (1°N - 104°E).) (Datos en la página http://jisao.washington.edu/data/qbo/index.my_page.html 18/02/12)

La figura 6 muestra un corte temporal en altura de la media mensual del viento zonal (m/s) en estaciones ecuatoriales. Las isopletas corresponden a intervalos de 10m/s. Los vientos del oeste están sombreados.

En la tabla I se presenta la ubicación temporal de extremos y cambios de signo de la serie del ciclo detectado en la neurona 170. En la primera columna se indican los meses que corresponden a un máximo en la fase de anomalías, en la segunda las fechas de cambio de



signo en la anomalía de exceso a déficit, en la tercera las fechas de mínimos y en la cuarta los meses de cambio de anomalía negativa a positiva. La modificación de tipo de letra a cursiva corresponde al cambio de localización de la estación de sondeo del Pacífico central a Maldivas. El final del período, otra vez con letra normal, responde al cambio de localización a Singapur.

Las letras “e” y “o” refieren a la componente este y oeste respectivamente de la QBO. Cuando se ha observado un predominio de la componente este en el perfil vertical, se asocia una “e” a la fecha y correspondientemente una “o” si predomina la componente oeste. Las secuencias de cinco letras en los extremos refiere a dos meses antes del máximo o mínimo, el mes de extremo central, y dos meses después de la fecha. Las seis letras en los cambios de signo refieren a los tres meses previos y los tres meses posteriores al cambio. La antepenúltima fila contiene la suma de casos de viento del este y del oeste.

Es claro el predominio de vientos del este durante los extremos de la oscilación representada por la neurona 170, y de vientos del oeste durante los cambios de signo. Los mayores apartamientos de este comportamiento se observan en los extremos del período, lo cual puede ser un efecto numérico de borde al haber fijado la señal de 4.8 años por medio de un componente armónico.

En las dos últimas filas se informa la secuencia total acumulada de casos de viento del oeste y del este en los meses previos y posteriores al momento de referencia. Así la secuencia E=7-9-9-7-6 refiere a 7 casos con viento del este dos meses antes del máximo, 9 casos con viento del este un mes antes del máximo, 9 casos del este coincidentes con el mes de máximo, 7 casos un mes después y 6 casos dos meses después. Se observa un leve predominio de vientos del este con anterioridad al extremo y un ligero incremento de casos del oeste después del extremo. Por otra parte, son levemente más frecuentes los casos de viento del oeste antes del cambio de signo y de vientos del este con posterioridad.

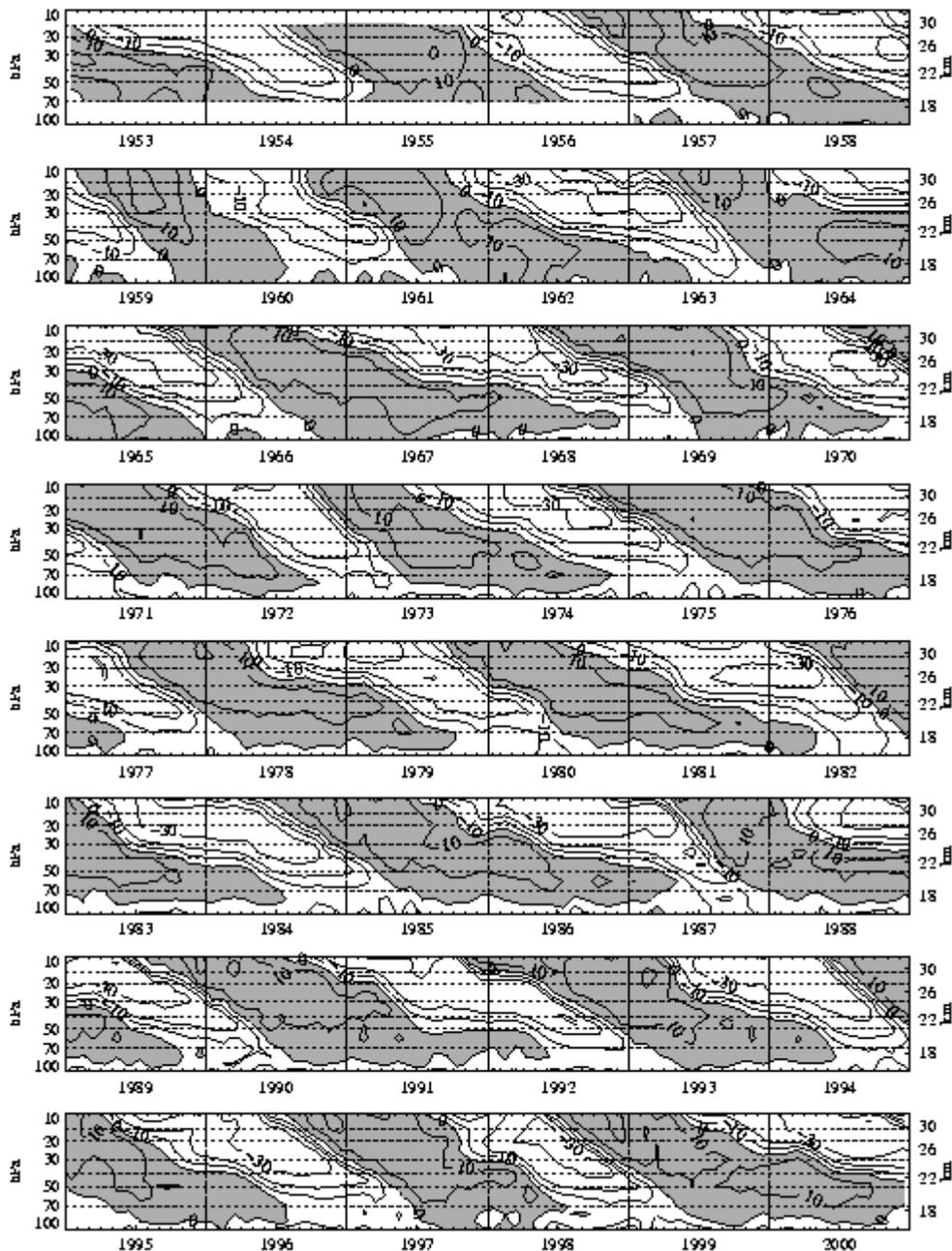


Figura 6 <http://stratt-www.met.fu-berlin.de/products/cdrom/HTML/section5.html>

(Se reproduce el texto que acompaña la figura en la página citada)

"Time-height section of monthly mean zonal winds (m/s) at equatorial stations: Canton Island, 3°S/172°W (Jan 1953 - Aug 1967), Gan/Maledive Islands, 1°S/73°E (Sep 1967 - Dec 1975) and Singapore, 1°N/104°E (since Jan 1976). Isotherms are at 10 m/s intervals; westerlies are shaded (updated from Naujokat, 1986)"

En la tabla II se analiza en forma más detallada los máximos en la señal. Se presenta la fecha correspondiente al extremo positivo en la señal de 4.8 años en la neurona 170, es decir, máximos de anomalías en la precipitación sobre el Pacífico central. La segunda columna (a/a) destaca el estado de circulación de vientos entre 30hPa y 70hPa. Así -/+ indica que, mientras en 30hPa el sentido de vientos es negativo, es decir, proveniente del este, en 70hPa es positivo, es decir, del oeste con dirección hacia el este. Puede notarse que durante los máximos de la señal de 4.8 años en 30hPa la circulación siempre es del este, con excepción de 1953, mientras que en 70hPa parece ser indiferente el sentido de vientos. Las siguientes



cinco columnas indican la velocidad del viento en 30hPa entre dos meses antes (-2) y dos meses después del máximo (+2) en décimos de metro sobre segundo, es decir que +163 indica una velocidad de 16.3m/s proveniente del oeste.

Máx.	De + a -	Mín.	De - a +
09/48	11-12/49	02/51	04-05/52
07/53 ooooo	09-10/54 eeeeeo	12/55 ooeee	02-03/57 eeoooo
05/58 oeeee	07-08/59 eooooo	10/60 eeeee	12/61-01/62 oooooo
03/63 eeeee	05-06/64 oooooo	08/65 eeeee	10-11/66 oooooo
01/68 eeeee	03-04/69 oooooo	06/70 eeeee	08-09/71 oooooo
11/72 eeeee	12/73-01/74 oooooe	03/75 eeeee	05-06/76 oooooe
08/77 eeeee	10-11/78 oooooo	01/80 eeeee	03-04/81 oooooe
06/82 oeeee	08-09/83 eeeee	11/84 eeeee	01-02/86 oooooo
04/87 eeeee	06-07/88 oeeee	09/89 eeeee	11-12/90 oooooo
02/92 eeeee	04-05/93 oooooe	07/94 eeeee	09-10/95 oooooe
12/96 eeeee	02-03/98 eeeee	05/99 ooooo	06-07/00 eeeee
O=13 E=70	O=48 E=33	O=21 E=61	O=76 E=21
O=3-1-1-3-4	O=6-7-6-5-65	O=2-2-2-4-4	O=9-8-9-7-7-6
E=7-9-9-7-6	E=4-3-4-5-4-5	E=8-8-7-6-6	E=1-2-1-3-3-4

Tabla 1. Primera columna de la izquierda, fechas de los máximos en la señal de 4.8 años, por ejemplo, 09/48 corresponde a septiembre de 1948. La secuencia de letras e y o que acompañan la fecha indican viento del este o del oeste dos meses antes, un mes antes, durante el mes del máximo, uno y dos meses después. La segunda columna representa los meses de proceso de cambio de signo positivo a negativo en la señal. La secuencia "eeeeeo" representa viento del este durante los tres meses previos con señal de signo positivo, y tres meses posteriores al cambio de signo con señal de signo negativo. De la misma manera se interpretan la tercera columna relativa a los mínimos y la cuarta en el cambio de signo de negativo a positivo en la señal. Al final de cada columna se resume la suma de casos del oeste y del este, así O=13 E=70 indica que se registró un total de 13 casos de viento del oeste asociado al máximo de la señal y de 70 casos de viento del este. De los 13 casos del oeste, 3 ocurren dos meses antes del máximo, 1 un mes antes, 1 durante el mes de máximo, 3 un mes después y 4 dos meses después.

Predomina claramente vientos del este con algunos registros positivos como en 1953, dos meses antes en 1958, dos meses después en 1972, uno y dos meses después en 1977, dos meses después en 1982 y uno y dos meses después en 1996. En 1963, 1968, 1987 y 1992 las velocidades son exclusivamente negativas. Las cuatro columnas siguientes encabezadas como "-1-2" hasta "2-1" resumen los cambios de velocidad entre dos meses antes y un mes antes del máximo hasta un mes después y dos meses después del máximo. Así en 1972 vemos que el viento en 30hPa ha pasado de -27.3m/s a -26.9m/s incrementándose en +0.4m/s. Entre 1953 y 1968 predomina el incremento de la componente del este (variaciones negativas) del viento mientras que desde 1972 es más frecuente el aumento de la componente del oeste (variaciones positivas) con la única excepción de 1992. Si bien en 1953 el perfil de vientos es positivo entre 30hPa y 70hPa, desde 1958 hasta 1968 es del este en el nivel superior y del oeste en 70hPa. En cambio entre 1972 y 1982 el perfil vertical de vientos es del este. Otra vez se invierte entre 1987 y 1992 siendo del este en 30hPa y del oeste en 70hPa, período en el que además la velocidad del viento en 30hPa es casi estable. En 1996 nuevamente el viento es del este en toda la vertical con incremento de la componente oeste. La última columna resume, de modo cualitativo, el comportamiento de la secuencia de vientos en 70hPa antes y después del máximo. En este nivel hasta 1968 el viento fue del oeste disminuyendo en magnitud, desde 1972 fue predominantemente del este cambiando al oeste entre 1987 y 1992.

En síntesis, en los máximos se observa un predominio de viento del este en 30hPa mientras que en 70hPa el viento es del oeste entre 1958 y 1968, excepto en 1953, año en que todo el perfil de viento es del oeste, aunque disminuyendo en intensidad. A partir de 1972, si bien persiste un



predominio de viento del este en todos los niveles, hay una disminución de intensidad, inclusive un cambio al oeste en 30hPa hasta 1982. El año 1996 presenta similitudes con los años 1972, 1977 y 1982.

Mes	a/a	-2	-1	0	+1	+2	-1-2	0-1	1-0	2-1	70
07/53	+/+	+110	+80	+70	+50	+28	-30	-10	-20	-22	+++
05/58	-/+	+37	-63	-197	-204	-233	-100	-134	-7	-29	+++
03/63	-/+	-282	-333	-346	-328	-317	-51	-13	+18	+11	+++
01/68	-/+	-197	-249	-196	-208	-253	-52	+53	-12	-45	+++
11/72	-/-	-273	-269	-284	-172	+58	+4	-15	+112	+230	+----
08/77	-/-	-266	-140	-91	+44	+88	+126	+49	+135	+44	-----
06/82	-/-	-310	-291	-283	-145	+72	+19	+8	+138	+217	-----
04/87	-/+	-266	-271	-270	-268	-247	-5	+1	+2	+21	---+
02/92	-/+	-253	-253	-254	-260	-262	0	-1	-6	-2	---+
12/96	-/-	-349	-284	-56	+22	+100	+65	+228	+78	+78	-----

Tabla II. Fechas de máximos. a/a (arriba/abajo) indica el cambio de signo entre 30hPa y 70hPa. Las columnas "-2 -1 0 +1 +2" indican la velocidad en dm/s entre dos meses antes y dos meses después del máximo. Las columnas "-1-2 0-1 1-0 2-1" indican el cambio de velocidad entre dos y un mes antes del máximo, un mes antes y el mes del máximo, el mes del máximo y un mes después, uno y dos meses después ofreciendo una medida de aceleración. La última columna encabezada por "70" muestra cualitativamente el signo de viento en 70hPa antes, durante y después del máximo.

Los mínimos, analizados en la tabla III, en la neurona 170 en el Pacífico central corresponden a máximos de anomalías sobre Indonesia, el Pacífico occidental y el Amazonas. Es más complejo el patrón de comportamiento de la QBO en los mínimos, pero puede observarse un predominio de valores negativos, es decir, de viento del este en 30hPa, con excepción de 1955 y 1999, coincidente en este aspecto con el comportamiento de los máximos. Entre 1975 y 1984 se observa un cambio a viento del oeste en 30hPa. En 70hPa hasta 1970 predomina viento del oeste, con excepción de 1960, pero desde entonces es más frecuente el viento del este, excepto en 1989. En términos generales los mínimos presentan un comportamiento de la QBO similar el de los máximos pero menos definido.

La tabla IV sintetiza el comportamiento de la QBO durante los procesos de cambio de signo de positivo a negativo en la señal en la neurona 170. Estos cambios de signo son coincidentes con un mínimo en la amplitud de la señal y una máxima dispersión geográfica en la distribución de anomalías.



Mes	a/a	-2	-1	0	1	2	-1-2	0-1	1-0	2-1	70
12/55	+/+	+163	+66	+59	-22	-62	-97	-7	-81	-40	+++
10/60	-/-	-256	-255	-249	-208	-155	+1	+6	+41	+63	---
08/65	-/+	-268	-287	-291	-321	-319	-19	-4	-30	+2	+++
06/70	-/+	-229	-258	-294	-290	-306	-29	-36	+4	-16	+++
03/75	+/-	-305	-240	-85	+50	+93	+65	+155	+135	+43	---
01/80	+/-	-271	-155	+27	+34	+94	+116	+182	+7	+60	---
11/84	-/-	-335	-281	+65	+110	+87	+54	+346	+45	-23	---
09/89	-/+	-306	-300	-310	-307	-306	+6	-10	+3	+1	+++
07/94	-/-	-318	-328	-338	-336	-336	-10	-10	+2	+0	---
05/99	+/+	+98	+140	+126	+137	+111	+42	-14	+11	-26	- +

Tabla III. Fechas de mínimos. a/a (arriba/abajo) indica el cambio de signo entre 30hPa y 70hPa. Las columnas "-2 -1 0 +1 +2" indican la velocidad en dm/s entre dos meses antes y dos meses después del máximo. Las columnas "-1-2 0-1 1-0 2-1" indican el cambio de velocidad entre dos y un mes antes del máximo, un mes antes y el mes del máximo, el mes del máximo y un mes después, uno y dos meses después ofreciendo una medida de aceleración. La última columna encabezada por "70" muestra cualitativamente el signo de viento en 70hPa antes, durante y después del máximo.

El perfil vertical de viento en la estratosfera es mayormente uniforme y del oeste, con excepción de 1954 cuando el viento fue del este, en 1959 y 1969 fue positivo en 30hPa pero negativo en 70hPa. En 1998, si bien se registra viento del este en 30hPa, inmediatamente debajo de este nivel el viento es del oeste pero resulta altamente variable en 70hPa. En 70hPa el viento zonal es variable entre 1954 y 1969 pero desde 1974 es casi exclusivamente del oeste. En 1954 el viento en 30hPa es del este cambiando al oeste. En 1959, 1964 y 1969 es del oeste alcanzando un máximo de intensidad en el momento de cambio de la señal. En 1974 el viento es del oeste pero cambiando al este. En 1978 es del oeste disminuyendo en intensidad. En 1983 es del este e incrementándose la intensidad. En 1988 es del oeste pero cambiando al este. En 1993 es también del oeste pero disminuyendo en intensidad para luego cambiar al este. En 1998 el viento en 30hPa es del este aumentando en intensidad. En síntesis, predomina un perfil de vientos positivo, es decir, del oeste, y en especial son del oeste los vientos en 70hPa a partir de 1974.

Mes	a/a	-2	-1	0	0	1	2	-1-2	0-1	0-0	1-0	2-1	70
09-10/54	-/-	-245	-250	-185	-100	60	75	-5	65	85	160	15	---
07-08/59	+/-	-60	135	207	193	190	127	195	72	-14	-3	-63	--
05-06/64	+/+	54	64	68	61	27	37	10	4	-7	-34	10	++
03-04/69	+/-	4	61	104	151	151	140	57	43	47	0	-11	--
12-01/74	0/+	85	45	10	-14	-29	-31	-40	-35	-24	-15	-2	++
10-11/78	+/+	75	93	55	48	20	37	18	-38	-7	-28	17	++
08-09/83	-/+	-60	-152	-177	-199	-203	-252	-92	-25	-22	-4	-49	++
06-07/88	-/+	70	50	-23	-102	-63	-50	-20	-73	-79	39	13	++
04-05/93	+/+	164	170	112	108	48	-10	6	-58	-4	-60	-58	++
02-03/98	-/+	-49	-50	-57	-127	-253	-280	-1	-7	-70	-126	-27	+++

Tabla IV. Fechas de cambio de signo en la señal de positivo a negativo. a/a (arriba/abajo) indica el cambio de signo entre 30hPa y 70hPa. Las columnas "-2 -1 0 +1 +2" indican la velocidad en dm/s entre dos meses antes y dos meses después del máximo. Las columnas "-1-2 0-1 1-0 2-1" indican el cambio de velocidad entre dos y un mes antes del máximo, un mes antes y el mes del máximo, el mes del máximo y un mes después, uno y dos meses después ofreciendo una medida de aceleración. La última columna encabezada por "70" muestra cualitativamente el signo de viento en 70hPa antes, durante y después del máximo.

En 1954 los vientos en 30hPa son del este cambiando al oeste pero entre 1959 y 1978 son predominantemente del oeste hasta alcanzar un máximo, desde 1974 son del oeste disminuyendo o cambiando al este, o del este incrementando la intensidad. Es decir que en torno a 1974 se observa un cambio en el comportamiento de los vientos en 30hPa



manifestándose un predominio de aceleración desde el este mientras que las aceleraciones eran desde el oeste antes de esta fecha o bien coincidía el cambio de régimen con un máximo de vientos del oeste.

Con relación al perfil vertical de vientos en el cambio de signo en anomalías de lluvia de negativo a positivo en la neurona 170 (tabla V) se observa un claro predominio de vientos del oeste, con excepción de 1957, año en que se registra un perfil negativo aunque cambiando a vientos del oeste, y en 2000, cuando el viento es del este en 30hPa y del oeste en 70hPa. Con excepción del año 2000, los vientos en 30hPa son del oeste (1961/2, 1966, 1971, 1986 y 1990) o en proceso de cambio de signo (1957, 1976, 1981, 1995 y 2000). Se observa un predominio de valores positivos o cambio de vientos del oeste al este, con la única excepción de 1957. También en 70hPa predominan vientos del oeste, con excepción de 1957 y dos procesos de cambio en 1966 y 2000. Las aceleraciones, en especial durante el mes de cambio de signo en la circulación de vientos, son predominantemente negativas, es decir del este. Se observa así un claro predominio de vientos del sector oeste con aceleración desde el este durante los procesos de cambio de fase en la señal de 4.8 años.

Mes	a/a	-2	-1	0	0	1	2	-1-2	0-1	0-0	1-0	2-1	70
02-03/57	0/-	-84	-21	-13	92	120	137	63	8	105	28	17	---
12-01/62	+/+	98	125	69	55	69	49	27	-56	-14	14	-20	++
10-11/66	+/+	153	182	160	144	148	148	29	-22	-16	4	0	-+
8-09/71	+/+	135	200	160	122	134	125	65	-40	-38	12	-9	++
05-06/76	+/+	123	99	30	-146	-22	-248	-24	-69	-176	-74	-28	++
03-04/81	+/+	101	91	79	60	-136	-241	-20	-12	-19	-196	-105	++
01-02/86	+/+	102	119	152	148	142	106	17	33	-4	-6	-36	++
11-12/90	+/+	130	109	110	134	114	127	-21	1	24	-20	13	++
09-10/95	+/+	125	72	34	-32	-131	-169	-53	-38	-66	-101	-38	++
06-07/00	-/+	61	-71	-227	-282	-294	-288	-131	-156	-55	-12	6	-+

Tabla V. Fechas de cambio de signo en la señal de negativo a positivo. a/a (arriba/abajo) indica el cambio de signo entre 30hPa y 70hPa. Las columnas "-2 -1 0 +1 +2" indican la velocidad en dm/s entre dos meses antes y dos meses después del máximo. Las columnas "-1-2 0-1 1-0 2-1" indican el cambio de velocidad entre dos y un mes antes del máximo, un mes antes y el mes del máximo, el mes del máximo y un mes después, uno y dos meses después ofreciendo una medida de aceleración. La última columna encabezada por "70" muestra cualitativamente el signo de viento en 70hPa antes, durante y después del máximo.

En resumen, en los extremos de intensidad de anomalías en la señal de 4.8 años con máxima concentración geográfica, especialmente durante los máximos sobre el Pacífico central pero también aunque de modo menos marcado durante los máximos en Indonesia y el Amazonas, se observa un predominio de vientos desde el este en 30hPa, no tan definido en 70hPa, con aceleración predominante desde el este hasta 1970 y desde el oeste desde principios de la década de 1970, período en el cual se registra un cambio de comportamiento también en el perfil vertical al igual que un marcado cambio en el régimen de precipitación. Durante los procesos de cambio de signo en la señal de 4.8 años, correspondiente a un mínimo de anomalías y un máximo de dispersión geográfica, se observa un sentido de circulación de vientos del oeste con aceleración desde el este, más evidente en el cambio de fase de mínimos de anomalías a máximos en el Pacífico central pero observable aunque no en forma tan clara en los procesos de cambio de máximos a mínimos en las anomalías.



Si se considera que la señal de 4.8 años representa anomalías en la precipitación en esa escala de tiempo, el máximo es un indicador de un extremo de inyección de ondas originadas en procesos de convección sobre la banda ecuatorial. En el caso de la neurona 170, el máximo está localizado sobre el Pacífico central. El mínimo, correspondiente a antípodas en la red neuronal, representa un máximo de inyección de momento sobre la QBO pero de un modo más distribuido en el Amazonas, en Indonesia, el Sudeste Asiático y el Pacífico occidental. El cambio de signo responde a mínimos de inyección de momento y a un máximo en la distribución geográfica en los procesos de convección.

DISCUSIÓN

La “señal” de 4.8 años se obtuvo a partir de filtrar la onda anual de precipitación sobre las series mensuales reanalizadas. Por lo tanto los modelos numéricos están incluyendo, al menos en forma parcial, los mecanismos responsables de tal señal y su vinculación con la QBO. Las anomalías absolutas se han reconstruido sobre la base de una ortogonalización a través de un armónico de Fourier, lo cual impone una estructura rígida al ciclo de 4.8 años, tanto en forma como en amplitud y fase.

No es fácil intentar una explicación física verosímil de la vinculación entre la QBO y la señal de 4,8 años. Es posible que por una parte los procesos de convección profunda en zonas ecuatoriales alimenten la QBO pero también que la QBO facilite o inhiba el desarrollo de los procesos de convección. Uno de los mecanismos posibles para que la QBO facilite la convección es su magnitud. Altas velocidades en niveles superiores podrían reducir la presión estática en esos niveles oficiando como una bomba de succión sobre los desarrollos de convección profunda. Si esto es así, elevadas velocidades en los niveles inferiores de la región de la estratosfera donde se desarrolla la QBO, entre 100hPa y 70hPa, generarían un proceso de realimentación positiva induciendo un aun mayor ingreso de momento y aumento de la velocidad hasta descender la corriente de vientos y desaparecer la cortante vertical. En ese momento un máximo de velocidad zonal en la región de máxima convección podría provocar una deformación en la QBO dejando de ser un anillo circular para alcanzar un máximo descenso, achatándose en la región de mayor convección.

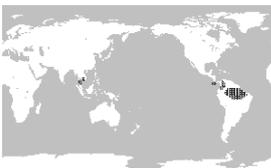
Una estructura circular y zonalmente uniforme de la velocidad del viento al nivel de la QBO sería esperable si la actividad de la convección fuese uniforme y aleatoria alrededor del círculo ecuatorial. La no uniformidad podría manifestarse en modos de variabilidad en la forma del anillo ecuatorial de vientos. Otro modo de variabilidad consiste en suponer una fluctuación en la estructura meridional de la corriente de vientos, es decir, puede expresarse como un modo propio anular en el que un desplazamiento hacia el norte de las antípodas corresponde a un desplazamiento hacia el sur de las antípodas rotadas un cuarto de circunferencia ecuatorial. A modo de ejemplo, si hay un desplazamiento hacia el sur en el Pacífico central y África, se produce un desplazamiento hacia el norte en Sudamérica e Indonesia. Quizá un cambio de forma en altitud conduzca a un cambio en la estructura meridional.



Figura 7. Representatividad de la neurona 50 en la segunda capa de la red aplicada a anomalías absolutas.

Cuando se organiza la red sobre anomalías absolutas, en la segunda capa la neurona 50 representa la variabilidad en las regiones que se muestran en la figura 7. Puede notarse que la variabilidad en la precipitación sobre el Pacífico central está muy ligada al comportamiento de las anomalías sobre África ecuatorial.

Es posible que se haya producido un cambio en el comportamiento del vínculo entre la QBO y la precipitación a comienzos de la década de 1970. Según puede verse en la serie temporal asociada al Pacífico central (figura 4) en torno a 1973 hubo un notable cambio en el régimen de lluvias en el Pacífico central ecuatorial, pero también se vio en las tablas expuestas más arriba que se registró un cambio en la relación entre la QBO y la señal de 4.8 años. Puede suponerse que si la precipitación sobre el Pacífico central y sobre África ecuatorial no fuese suficiente para sostener la inyección de momento en la QBO, sería necesaria otra fuente de momento para conservar la circulación. Éste podría ser un mecanismo que involucre un cambio en la circulación en la tropósfera para alimentar la QBO redistribuyendo las fuentes de momento por medio de un cambio en los patrones de precipitación. Un cambio notable se observa en la neurona 12 de la red configurada sobre anomalías absolutas (figura 8), la que representa anomalías sobre el Amazonas. Puede notarse que hay cierta oposición en el comportamiento de las anomalías entre las neuronas 231 (Pacífico central) y 12 (Amazonas). El mínimo en el Pacífico de 1973 se compensa con un máximo en el Amazonas. Esta complementariedad se observa también el 1982/3, 1986/7, 1988/9, 1991/2, 1994, 1996/7 y 1998/9.



C: 1 N: 12 Mínimo:-66.7mm Máximo:69.4mm

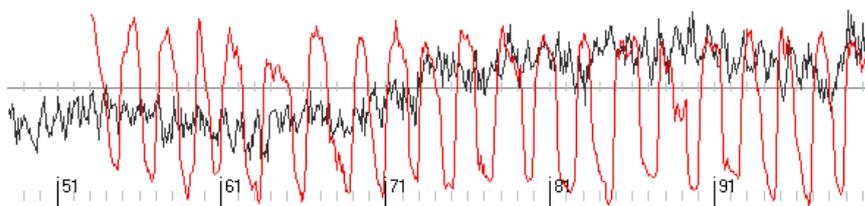


Figura 8. Representatividad espacial y serie temporal caracterizada por la neurona 12 de la primera capa de la red neuronal aplicada a la organización de anomalías absolutas. Se superpone la señal de la QBO en rojo.



En los patrones de la neurona 9 (figura 9 izquierda) y la neurona 5 (figura 9 derecha) de la tercera capa de la red aplicada sobre anomalías absolutas, puede verse que las anomalías sobre el Amazonas, Indonesia y el Índico están vinculadas con anomalías sobre el sur de África y sobre el Pacífico ecuatorial central pero al sudeste de la región representada por la neurona 231, lo que induce a pensar, en el marco de la discusión precedente, que la QBO podría presentar una fluctuación meridional. En la distribución espacial asociada a la neurona 5 puede verse que las anomalías en el Pacífico central ecuatorial se relacionan con anomalías en África al norte de la línea ecuatorial pero también con anomalías sobre el nordeste de China. Por otra parte, las anomalías sobre el Pacífico al oeste de México y Centroamérica en la neurona 9 se han desplazado hacia el Caribe en la neurona 5.

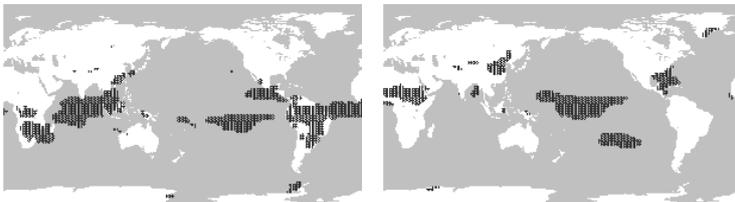


Figura 9. Representatividad espacial de por la neurona 9 (izquierda) y 5 (derecha) de la tercera capa de la red neuronal aplicada a la organización de anomalías absolutas.

CONCLUSIONES

Se organizó una red neuronal esférica conformada por una capa sensible que recibe señales temporales de anomalías absolutas en la precipitación reconstruidas por el armónico de Fourier que corresponde a una señal de 4.8 años, lo que permite seguir la evolución espacial de la señal.

Al asociar la señal de 4.8 años con la QBO, se observa que en los extremos de intensidad de la señal hay un predominio de vientos desde el este en 30hPa, menos definido en 70hPa, con aceleración desde el este hasta 1970 y desde el oeste desde principios de la década de 1970, período en el cual se observa un cambio de comportamiento también en el perfil vertical de vientos. A comienzos de la década de 1970 se registra también un marcado cambio en las anomalías de precipitación especialmente en la banda ecuatorial. Durante los procesos de cambio de signo en la señal de 4.8 años en el Pacífico central, en especial cuando pasa de un mínimo a un máximo, con mínima amplitud en las anomalías y máxima dispersión geográfica, se observa circulación de vientos del oeste con aceleración hacia el este.

Se ha propuesto, a modo de una hipótesis exploratoria de posibles mecanismos que vinculen la QBO y la señal de 4.8 años, una variabilidad en el mecanismo de inyección de momento a la QBO desde las ondas de gravedad generadas por los procesos convectivos. Esta variabilidad se expresaría como un modo estacionario de variación de la QBO. Entre los modos posibles, el más verosímil parece ser una fluctuación meridional en la forma de la QBO acoplada quizá con una variabilidad en la forma de la convergencia intertropical.



BIBLIOGRAFÍA

- [1] F.J. Álvarez-García, P.M. Lorente-Lorente, M.J. Ortiz Bevia; Quasi-quadriennial variability in European precipitation International Journal of Climatology (Published online:17 MAY 2011.DOI: 10.1002/joc.2351
<http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/joc.2351/supinfo>)
- [2] MP Baldwin, LJ Gray, TJ Dunkerton, K Hamilton, PH Haynes, WJ Randel, JR Holton, MJ Alexander, I Hirota, T Horinouchi, DBA Jones, JS Kinnersley, C Marquardt, K Sato, M Takahashi (2001) The Quasi-Biennial Oscillation. *Reviews of Geophys.*, 39, 179-229.
- [3] CC Collimore, MH Hitchman, DW Martin, Is there a quasi-biennial oscillation in tropical deep convection? (1998) *Geophysical Research Letters* 25:333-336.
- [4] JB Elsner, AB Kara, MA Owens, Fluctuations in North Atlantic hurricane frequency (1999), *Journal of Climate* 12:427-437.
- [5] BS Fontaine, S Janicot, V Moron, Rainfall anomaly patterns and wind field signals over west Africa in August (1995) *Journal of Climate* 8:1503-1510.
- [6] M Ghil et al. Advanced spectral methods for climatic time series. *Reviews on Geophysics* (2002), 40, 1/2002, pp1-41.
- [7] WM Gray, Atlantic seasonal hurricane frequency, part 1, El Niño and 30mb quasi-biennial oscillation influences (1984), *Monthly Weather Review* 112:1649-1668.
- [8] GE Hinton, JL McClelland; Learning Representation by Recirculation (1988). American Institute of Physics. Proc. IEEE Conf on Neural Information Processing Systems, Nov. 1988. pp. 358-366.
- [9] N Jiang, JD Neelin, M Ghil (1995) Quasi-quadriennial and quasi-biennial variability in the equatorial Pacific. *Climate Dynamics* 12:101-112.
- [10] D Kilpatrick, R Williams; 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*
- [11] M Kimoto; Studies of climate variability using general circulation models (2001) En: *Present and Future of Modeling Global Environmental Change: Toward Integrated Modeling*, Eds., T. Matsuno and H. Kida, pp. 49-62. TERRAPUB, 2001.
- [12] T Kohonen; *Self Organizing Maps* (2001) (3^o ed.) USA, Springer. (Caps. 3, 4 y 5)
- [13] B Naujokat (1986) An update of the observed quasi-biennial oscillation of the stratospheric winds over the tropics. *Journal of Atmospheric Science* 43:1873-1877.
- [14] LJ Shapiro, The relationship of the quasi-biennial oscillation to Atlantic tropical storm activity (1989) *Monthly Weather Review* 117:1545-1552.
- [15] YM Tourre, D Rousseau, L Jarlan, E Le Roy Ladurie, V Daux; Western European climate, and Pinot noir grape harvest dates in Burgundy, France, since the 17th century (2011) *Climate Research Vol. 46: 243-253, 2011 doi: 10.3354/cr00991*
- [16] YS Unal, M Ghil (1995) Interannual and interdecadal oscillation patterns in sea level. *Climate Dynamics* 11:255-278.



- [17] WM Vargas, DA Huggenberger; Una clasificación de la lluvia en el 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
- [18] WM Vargas, DA Huggenberger; Una clasificación global de espectros de precipitación por medio de un mapa auto organizado de redes neuronales (2010). Sexto encuentro del International Center for Earth Sciences E-ICES 6. 4 a 8 octubre 2010.
- [19] R Vautard, M Ghil. Singular spectrum analysis in nonlinear dynamics, with applications to paleoclimatic time series (1989). *Physica D.* 35:395-424.



Mapa de anomalías gravimétricas de Bouguer y su correlación con las cuencas sedimentarias en la provincia de San Luis

José Kostadinoff¹, Daniel A. Gregori², Leonardo Benedini², Ariel Raniolo³ y Daniel Robles⁴

¹ Universidad Nacional del Sur, Departamento de Física, Alem 1253, 8000 Bahía Blanca.

² INGEOSUR-CONICET; Universidad Nacional del Sur, Departamento de Geología, San Juan 670, 8000 Bahía Blanca.

³ Universidad Nacional del Sur, Departamento de Ingeniería, Alem 1253, 8000 Bahía Blanca

⁴ Instituto del Gas y del Petróleo de la Universidad de Buenos Aires (IGPUBA) y Dirección Nacional de Exploración, Producción y Transporte de Hidrocarburos de la Secretaría de Energía Buenos Aires.
gfkostad@criba.edu.ar

RESUMEN

Se describen las características y la configuración de las cuencas sedimentarias ya conocidas y aquellas nuevas reconocidas mediante técnicas geofísicas de la provincia de San Luis. En las cuencas de Las Salinas, Beazley y Estancia La Daisy se han realizados estudios sísmicos y perforaciones, permitiendo establecer la edad y diseño de las unidades sedimentarias del relleno.

En la zona central y sur de la provincia, la subcuenca de Alvear, y las cuencas de Mercedes y Nueva Galia solo fueron estudiadas mediante gravimetría y magnetometría, determinándose espesores interesantes para la prospección petrolera.

INTRODUCCIÓN

La provincia de San Luis se halla ubicada en el centro de la República Argentina alcanzando su superficie 76.748 km² estando la mitad del territorio (sector norte) atravesado por numerosas sierras con rumbo Norte Sur.- Al oeste se encuentran las sierras de Guayaguas, Cantantal, Quijadas y Gigante; en la parte central, la Sierra Grande de San Luis y al este las sierras del Morro y de Comechingones. La mitad sur se caracteriza por ser una zona medanosa con pequeños afloramientos serranos de baja altitud siendo los más destacados, de oeste a este, las sierras de Varela, Los Cerrillos, Altos del Pozo Peje, Los Padres y El Tala.

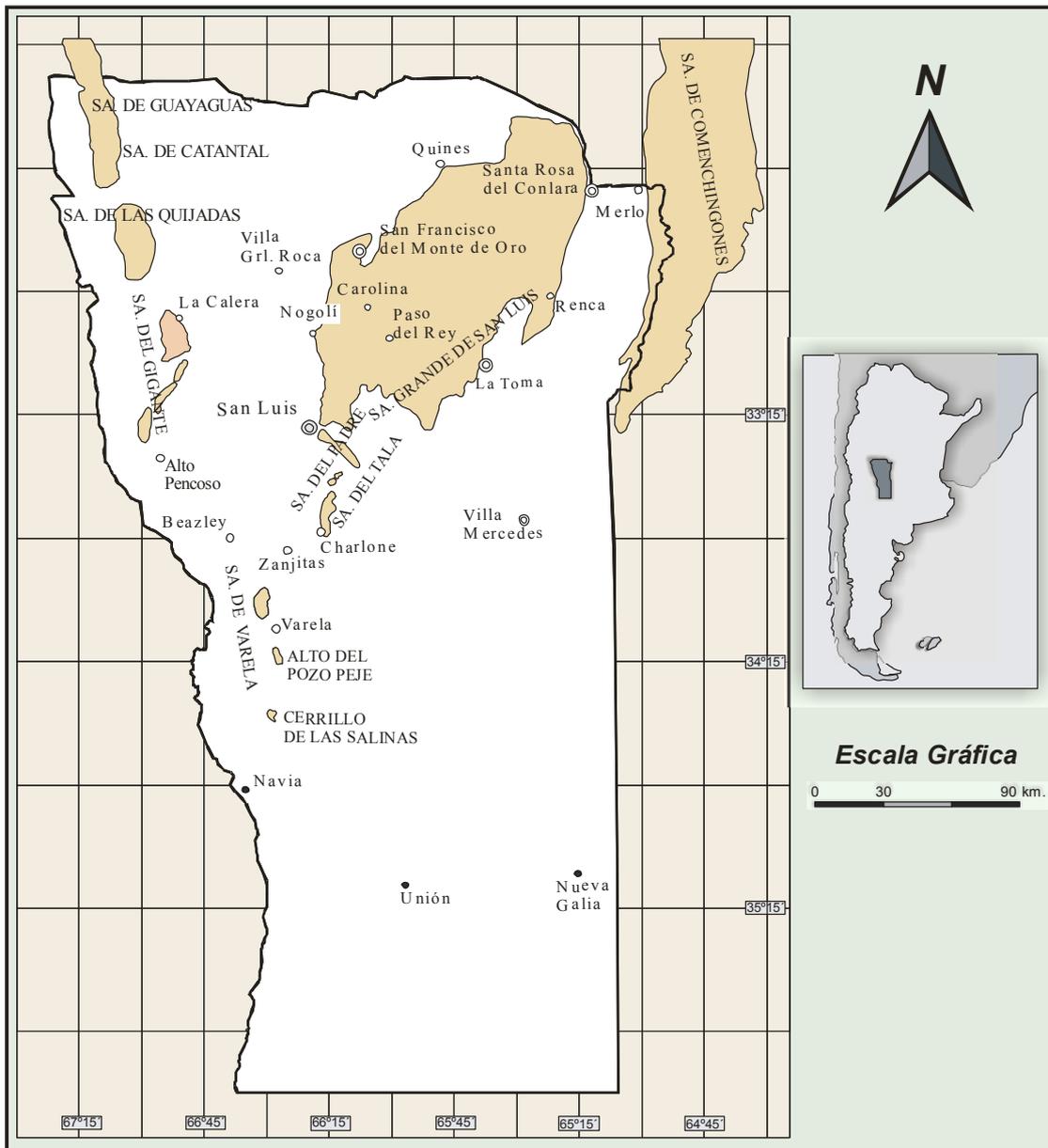


Figura 1.- Mapa de ubicación

La prospección geofísica realizada por diferentes empresas petroleras han determinado en el subsuelo varias cuencas sedimentarias con gran desarrollo areal, entre ellas Las Salinas, Beazley y Mercedes. Otras menores como la cuenca de Alvear y Nueva Galia son extensiones de aquellas que tienen su máxima profundidad en la provincia de Mendoza y La Pampa respectivamente.

La exploración gravimétrica presentada en esta investigación será utilizada para la interpretación de la geometría y estructura y el cálculo del espesor sedimentario de las cuencas mencionadas anteriormente.



ANTECEDENTES

En dos de las cuencas sedimentarias, Las Salinas y Beazley, se han realizada una intensa exploración geofísica mediante sísmica de reflexión y estaciones gravimétricas [1].

La cuenca de Las Salinas se encuentra alineada meridianamente en el noroeste y comprenden el sector oriental de las Sierras de las Guayaguas, Cantantal, de las Quijadas y del Gigante. Las hojas geológicas preliminares de San Luis [2a] y San Francisco del Monte de Oro [2b] nos permiten tener una idea precisa de la ubicación de las estructuras asociadas a las sierras de Guayaguas, Cantantal, Quijadas, Gigante y de Las Cabras. En las mismas se reconocen afloramientos de edad Triásico-Cretácico superior correspondientes al Grupo del Gigante y a la Formación Lagarcito [3], [4]. Este conjunto representa ambientes aluviales, fluviales y lagunares de rift continental que sufrió deformación durante el Terciario inferior con generación de una tectónica de inversión aprovechando las fallas maestras que limitan dichos rift [4], [5], [6].

La Cuenca de Beazley se desarrolla al sur de la llamada “Dorsal de San Pedro” y al norte de la Dorsal del Cerro Varela-Lineamiento del Río Diamante [7] y comprende rocas equivalentes al Grupo Cerro Cocodrilo [8]. El positivo que se extiende entre Las Barrancas-Cerro Charlone-Sierra de Varela y el Alto del Pozo Peje conforma su límite oriental.

En el extremo sureste de la provincia se encuentra la cuenca de Nueva Galia, la cual se ubica en sentido norte-sur continuando su desarrollo en la provincia de La Pampa [9].

La anomalía negativa de Nahuel Mapa puede atribuirse a una prolongación de la subcuenca de Alvear [10].

METODOLOGÍA

Las mediciones geofísicas incluyeron determinaciones gravimétricas y de densidad de las rocas aflorantes en la zona. Los valores del campo gravitatorio se obtuvieron con un gravímetro Worden geodésico, cubriéndose el área con un reticulado de una estación cada 6 km realizándose un total de 1.580 determinaciones de gravedad relativa a la estación pendular de San Luis (979401 miliGal). La selección de los puntos de medición y la altimetría necesaria para el cálculo de las anomalías de Bouguer se realizó con mapas del Instituto Geográfico Nacional, en escala 1:100 000.

Con las anomalías calculadas se dibujaron el mapa (Figura 2) y perfiles (Figuras 7 y 8) utilizados en la elaboración del modelo geofísico de esta área. Las densidades de las rocas seleccionadas en el campo fueron determinadas en el Laboratorio de Mecánica de Suelos y Carreteras de la Universidad Nacional del Sur.

RESULTADOS

De acuerdo al mapa de anomalías gravimétricas de Bouguer (Figura 2) se pueden hallar las diferencias relativas de las anomalías de gravedad entre los valores más altos y los más bajos las cuales se utilizaron para calcular los espesores sedimentarios de las cuencas en esta provincia.



En el mapa de la Figura 2 se observan una serie de máximos mayores de -40 miliGal orientados en dirección noreste- sudeste, que representan altos de basamento que representan bordes de cuencas.

Cuenca de Las Salinas

De acuerdo a [1] esta cuenca cubre un área de 5.750 km². Las anomalías gravimétricas negativas de Bouguer calculadas en este trabajo indican que 2.700 km² de esta cuenca se hallan en la provincia de San Luis.

El borde oeste está limitado por las sierras de Guayaguas y Cantantal. Su límite sur es la dorsal de San Pedro que la separa de las cuencas de Estancia La Daisy-Beazley. Inmediatamente al oeste de villa Gral. Roca se ubica la falla del mismo nombre caracterizada por altos gradientes gravimétricos y por un alto de anomalías de Bouguer [11].

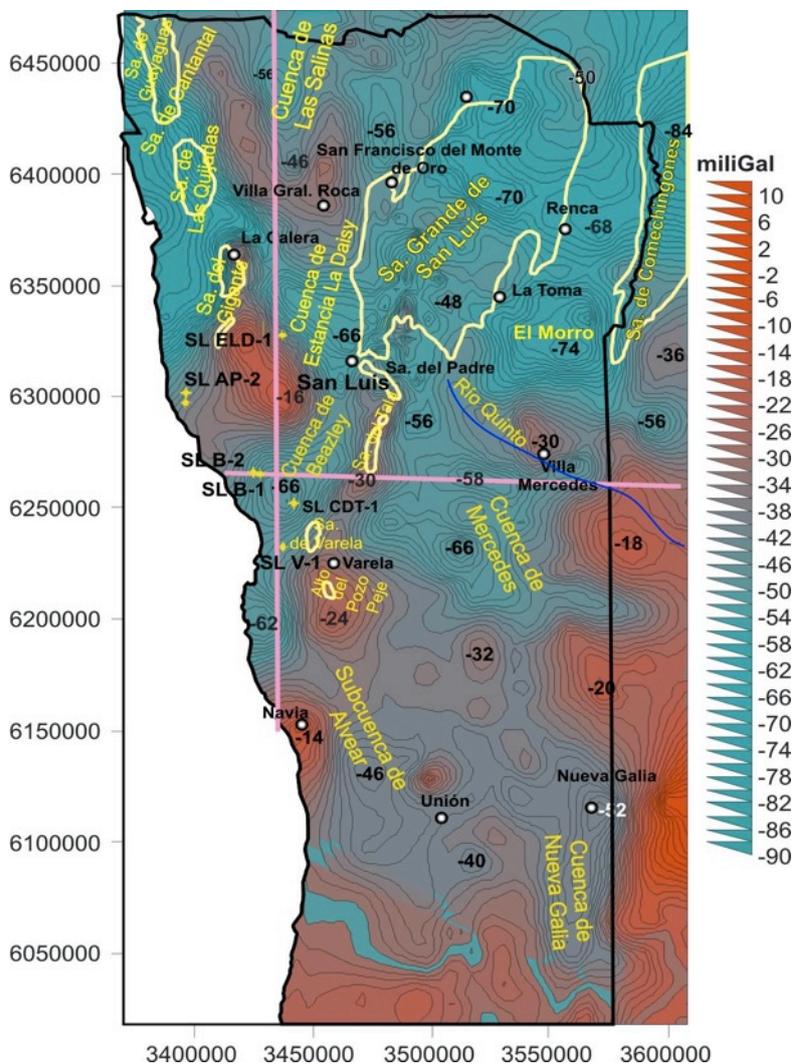


Figura 2.- Mapa de estaciones gravimétricas y de anomalías de Bouguer (cada 2 miliGal).

El máximo gravimétrico de Bouguer (-32 miliGal) es coincidente el alto orográfico de la sierra del Gigante, pero ligeramente desplazado hacia el este respecto a la Sierra de las Guayaguas.



Los mínimos (-56 y -46 miliGal) se corresponden con los mayores espesores de la pila sedimentaria de esta cuenca, Figura 2.

Al norte de la sierra del Gigante se determinan una zona de altos gradientes gravimétricos que secciona en sentido noroeste-sureste las anomalías de Bouguer mayores de -30 miliGal. Este elemento se conoce como Alto de San Pedro.

El mínimo gravimétrico de la parte central de la cuenca de Las Salinas, que se halla en la provincia de La Rioja, se correlaciona con los espesores sedimentarios hallados por sísmica, que de acuerdo a [1] llegarían a 4.000 metros.

En la provincia de San Luis los valores son menores de acuerdo a las anomalías gravimétricas de la Figura 2 y las mismas pasan de -56 a -46 miliGal. Realizando cálculos usando modelos prismáticos la diferencia significa que los espesores sedimentarios son del orden de 3.750 m para un contraste de densidad de $-0,39 \text{ gr/cm}^3$ entre estos y el basamento cristalino. La línea sísmica 28049a que corre en sentido oeste-este cortando la cuenca da una idea de la estructura y las secuencias sedimentarias desde el Carbónico al Terciario.

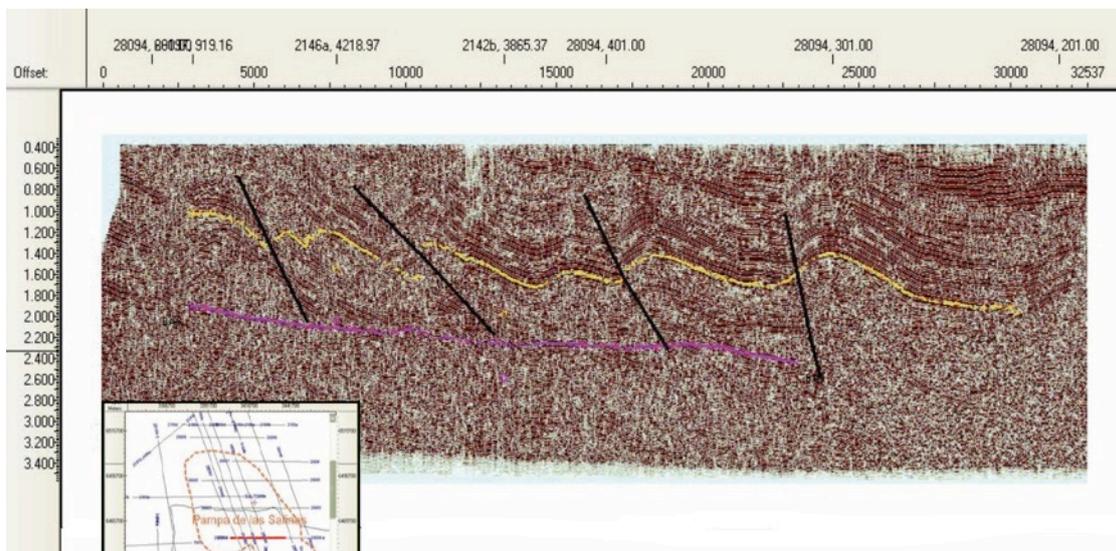


Figura 3.- Línea sísmica 28049 a que cruza en sentido oeste-este la cuenca de Las Salinas en el área norte de la provincia de San Luis.

Una descripción de los sedimentos y su estructura se realiza en [1] y [2]. La cuenca se corresponde a un rift de tipo hemigraben, iniciada por un sistema transtensivo-trascurrente, durante el Carbonífero. Las unidades Gondwánicas son sedimentitas de origen aluvial (areniscas y conglomerados grises) y lagunares (lutitas y fangolitas pardas) de la Formación Malanzán, que forma parte de la Cuenca de Paganzo. Continúa un evento de alta subsidencia tectónica representado por el Grupo Marayes del Triásico, integrado por areniscas aluviales, facies anóxicas, sistemas deltaicos progradantes y reactivación estructural. Durante el Cretácico, una reactivación genera depósitos de sinrift, del Grupo del Gigante, culminando con la Formación Lagarcito en un estadio de subsidencia termal [4] El Terciario, representado



por las Formaciones San Roque y Las Mulitas alcanza un espesor de 1.800 m y se halla integrado por limolitas, areniscas y conglomerados.

Cuenca de Estancia La Daisy

Un alto relativo de gravedad de -37 miliGal, Figura 2, ubicado al sur de la cuenca de La Salina la separa de la cuenca de Estancia La Daisy. Al oeste de esta cuenca se encuentran las rocas del basamento de la sierra del Gigante y al este los asomos de las granodioritas de la localidad de villa Gral. Roca. La geometría de las anomalías relativas de Bouguer de este depocentro tiene una forma triangular con un mínimo de -68 miliGal, Figura 2. La diferencia de los valores entre los afloramientos de las rocas del basamento y este mínimo es de -50 miliGal. Si consideramos que el contraste de densidad entre los sedimentos que colmatan esta cuenca y el basamento cristalino es de $-0,39 \text{ gr/cm}^3$ el espesor total de estos es, de acuerdo a los modelos prismáticos, de 5.000 m. Las anomalías gravimétricas cubren una superficie de 1.300 km^2 . Es de destacar que entre las sierras de Las Quijadas y la del Gigante se encuentra un mínimo gravimétrico con alto gradiente (Figura 2). Este puede ser interpretado como una fractura que genera una estructura de bloques siendo el más elevado el de la sierra del Gigante.

La línea sísmica 25180-5 a, que se registró en sentido oeste - este, muestra como se espesan las capas sedimentarias desde el alto gravimétrico de la sierra del Gigante hacia el Este.

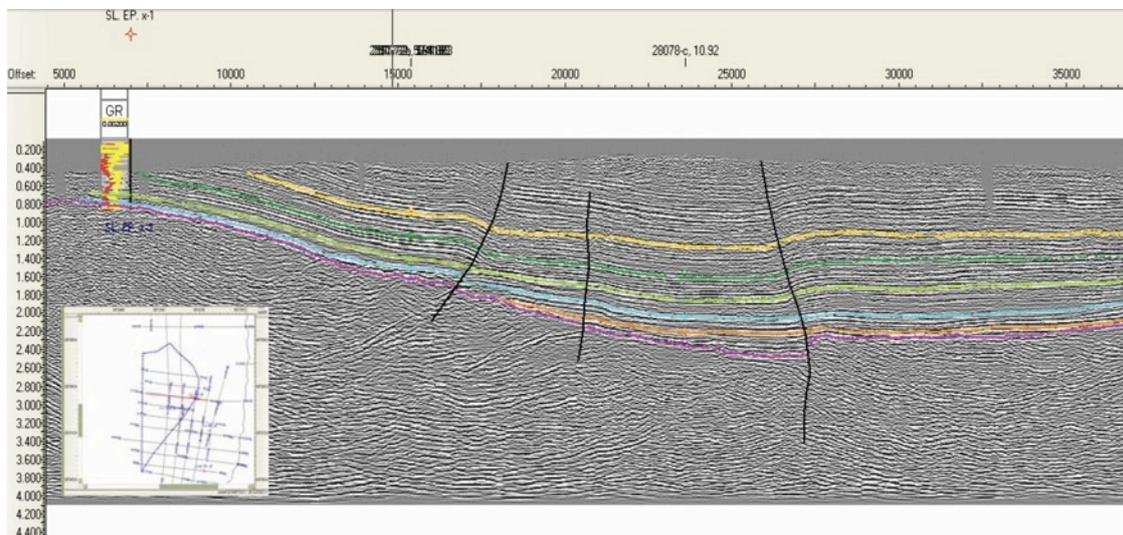


Figura 4.- Línea sísmica 25180-5 a que cruza en sentido oeste-este la cuenca de Estancia La Daisy. En el margen oeste se observa el perfil sónico del pozo YPF SL El Portezuelo X-1.

Los pozos SL El Portezuelo X-1 (667 m) y SL Ea La Daisy X-1 (2.465 m) terminan sobre rocas del basamento lo que permite contar con parámetros, contraste de densidad y espesores sedimentarios, para el mejor ajuste del modelo geofísico que permite hallar la profundidad en cualquier punto de la cuenca.

La literatura geológica siempre ha considerado el depocentro de la cuenca de Estancia La Daisy como una extensión de la cuenca de Beazley [7].



Cuenca de Beazley

Esta cuenca cuenta con muchos trabajos e informes debido a la exploración petrolera realizada por YPF. Los pozos más destacados son:

YPF SL Alto Pencoso X-2..... 2792 mbbp

YPF SL Beazley X-1..... 3396 mbbp

YPF SL Beazley X-2..... 2757 mbbp

YPF SL Corral de las Totoras X-1.....2657 mbbp

YPF SL Sierra de Varela X-1.....2000 mbbp

La zona está cubierta con una alta densidad de líneas sísmicas reprocesadas en las últimas décadas para aumentar la precisión e identificación de las formaciones geológicas que la cubren.

La línea sísmica 28081, cuya traza es oeste -este, pasa por los pozos SL Beazley X-1 y SL Beazley X-2. Según [6] esta cuenca tiene una disposición estructural diferente a la cuenca de Las Salinas.

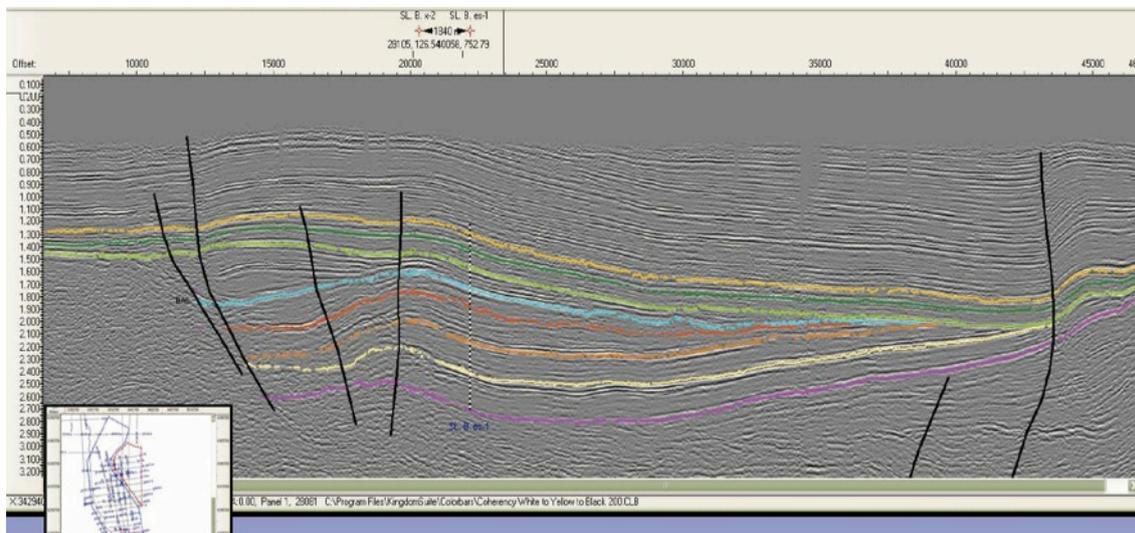


Figura 5.- Línea sísmica 28081 que cruza en sentido oeste-este la cuenca de Beazley. En el sector oeste se encuentran ubicados los pozos YPF SL Beazley X-1 y X-2.

El mínimo de las anomalías gravimétricas de Bouguer que identifican la cuenca de Beazley (-66 miliGal, Figura 2) se halla marginado al este por las sierras Grandes de San Luis, del Padre, Charlone y Varela. Al oeste por el alto gravimétrico de sierra del Gigante, mientras que al sur la cuenca se cierra con la dorsal del cerro Varela.

Una característica destacable es su extensión hacia el oeste, uniéndose con la cuenca Cuyana [6] en coincidencia con los valores gravimétricos de la Figura 2.

La superficie adjudicada a esta cuenca es de 6.500 km². Una descripción completa de se encuentra en el trabajo de Manoni (1985), donde se desprende la existencia de rocas de edad Tríasica (Grupo Cerro Cocodrilo), que conforman un sistema clásico de rift, con rocas depositadas en ambientes aluviales, fluviales y lagunares. Similar a lo observado en las cuencas de norte de la provincia, durante el Cretácico se reconoce una reactivación de la cuenca y se produce la depositación del Grupo del Gigante.



Cuencas al sur del río Quinto

Al sur del lineamiento del río Quinto se halla una zona con poca información geológica y geofísica. De acuerdo a la prospección gravimétrica realizada en la última década por este grupo de trabajo se puede delimitar y confirmar la existencia de tres cuencas:

1.- Cuenca de Mercedes, 2.- Subcuenca de Alvear y 3.- Cuenca de Nueva Galia.

La Figura 6 muestra la disposición de las mismas en el sur de la provincia de San Luis.

Cuenca de Mercedes

En [6] se describe esta cuenca como una depresión con una cubierta sedimentaria de 3.500 metros. Los modelos gravimétricos, de acuerdo a [12], indican un espesor de hasta 4.400m en el depocentro denominado estancia Centenario, Figura 7.

En ese mismo trabajo se sugiere, basándose en el carácter y magnitud de las anomalías gravimétricas de Bouguer, que al norte de la estación Las Isletas el borde de la cuenca se orienta en dirección noroeste, concordando con la dirección del lineamiento del Río Quinto. Es posible que este lineamiento haya jugado un papel importante en el desarrollo de esta cuenca. En la zona ubicada al sur del depocentro estancia Centenario el borde de la cuenca adopta la misma disposición, siendo en este caso concordante con el lineamiento del Tunuyán. Estas anomalías (-42 miliGal) se sitúan fuera del área considerada como cuenca y se ubican en los bordes de la misma. Por otro lado, el pilar estructural que se ubica entre los depocentros estación Nueva Escocia (-59 miliGal) y estancia Centenario (-66 miliGal) Figura 2 y 6 tiene una orientación similar al lineamiento de Tunuyán, al lineamiento del Río Quinto y a la dorsal del Cerro Varela. Esta disposición es seguida también por los depocentros arriba citados, al igual que por la subcuenca de Villa Valeria.

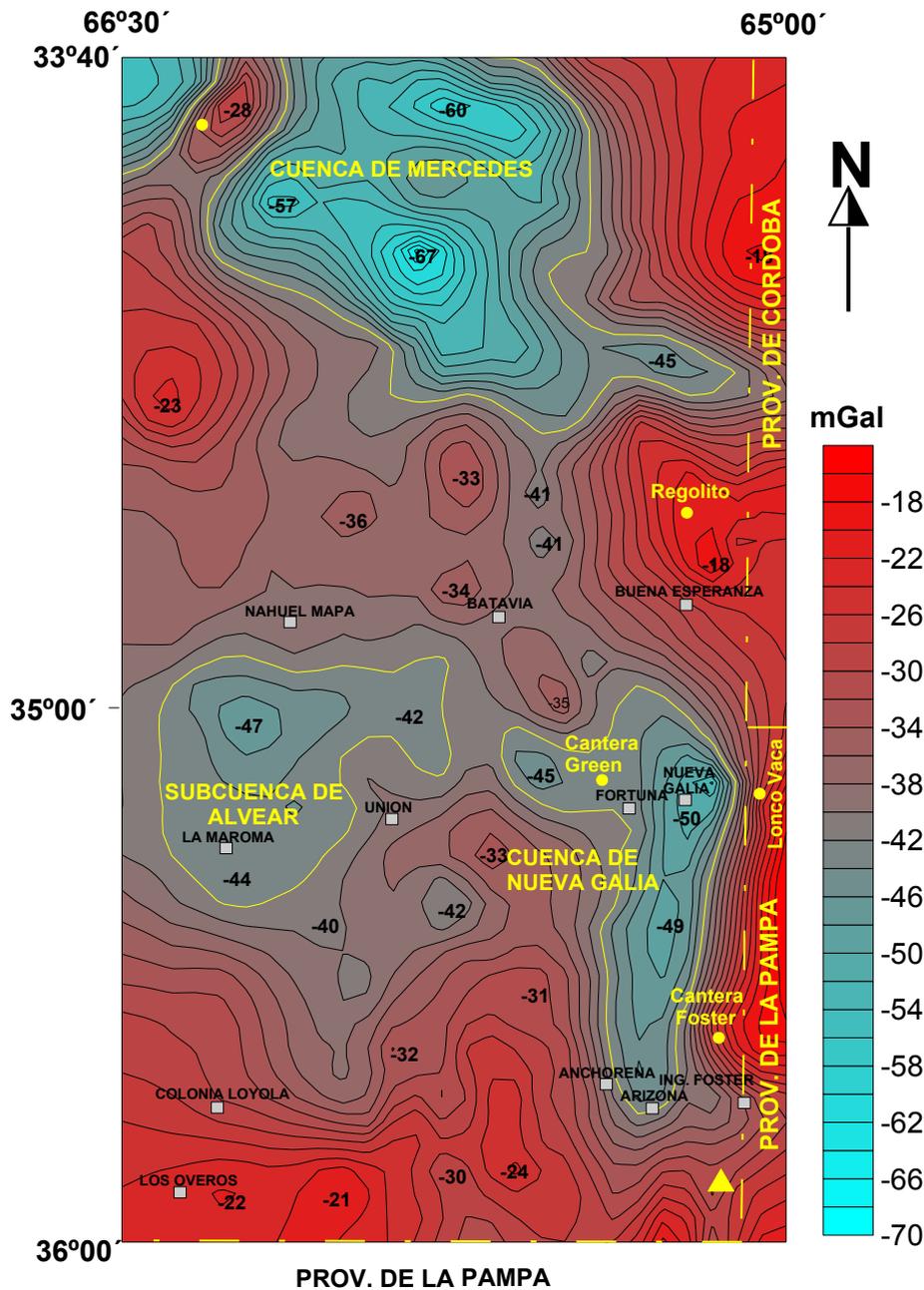


Figura 6.- Cuencas al sur del río Quinto de acuerdo a las anomalías de Bouguer. Isolíneas cada 2 miliGal.

Subcuenca del Alvear

Se corresponde a un conjunto de anomalías de gravedad que tienen un valor mínimo de -47 mGal y se extiende desde el límite con Mendoza hasta la zona de Nahuel Mapa-Batavia por el norte y desde allí a Unión, Colonia Loyola por el este y sureste (Figura 2). De acuerdo a las prospecciones gravimétricas descritas en los trabajos [9] y [12] correspondería a una extensión de la subcuenca de Alvear en territorio de la provincia de San Luis. La dimensión de esta singularidad geofísica es de aproximadamente 1.000 km².

Con los datos del pozo de exploración petrolera IV-C- X1, en cercanías de Los Overos (Figuras 1 y 2), es posible calcular con modelos prismáticos el espesor sedimentario, considerando las diferencias de las anomalías de Bouguer entre las localidades de La Maroma y Nahuel Mapa.



Dicho pozo ha localizado riolitas a 328 m de profundidad. Si se toma a estas rocas como basamento geofísico es posible evaluar que entre estas y el mínimo gravimétrico existen -22 miliGal de diferencia. El contraste de densidad propuesto para esta cuenca es de $-0,28 \text{ gr/cm}^3$, medido por [12]. Con todos los parámetros mencionados se halló que en la zona del mínimo gravimétrico el espesor sedimentario máximo llegaría a 2.300 m. El mismo disminuye lentamente hacia las periferias de la cuenca, conectándose posiblemente con la cuenca de Nueva Galia y con la de Mercedes. Las unidades de edad triásica depositadas en la Subcuenca de Alvear alcanzan un espesor máximo de 2.300 m [13].

Se considera que la mayor parte del relleno de la subcuenca de Alvear en la provincia de San Luis, corresponden a unidades triásicas perforadas en el sector mendocino de dicha cuenca. Sin embargo no puede descartarse que en el relleno participen unidades neopaleozoicas.

Las anomalías citadas pueden continuarse con aquella ubicada en los Cerrillos de las Salinas, localizada a unos 30 km al oeste-suroeste de la estancia Centenario y la situada inmediatamente al este de Nahuel Mapa [12] conformando una faja de dirección noroeste-sudeste y oeste-este que posiblemente se conecta a través de la dorsal del Cerro Varela.

Esta estructura no solo desliga la subcuenca de Alvear de las de Beazley y Cacheuta, sino que separaría la extensión oriental de la subcuenca de Alvear, definida en este trabajo, de la Cuenca de Mercedes. Las rocas, que fueron perforadas en el pozo IV-C- X1, en cercanías de Los Overos, conforman el borde y parte del basamento de la Cuenca de Alvear.

Cuenca de Nueva Galia

Se la reconoce por una singularidad geofísica representada por un mínimo de -52 mGal que se encuentra ubicado entre las localidades de Nueva Galia y Arizona. Esta anomalía tiene una longitud de 80 km y un ancho de 12 km (Figura 2).

Este mínimo continúa hacia el norte, con valores de -52 mGal conectándose con la cuenca de Mercedes pasando entre las localidades de Buena Esperanza y Batavia [12].

Hacia el sur es posible inferir una conexión con la Cuenca de Quehué en la provincia de La Pampa [14]. Por lo tanto, se propone que el mínimo gravimétrico de Nueva Galia-Arizona es un déficit de masa producido por sedimentos en una cuenca de tipo rift. La conexión y la similitud geométrica de esta cuenca, que denominaremos de Nueva Galia, con la Cuenca de Quehué [14] y [15] nos permite calcular los espesores probables de la misma. En el sector norte esta singularidad geofísica se halla comprendida entre los afloramientos rocosos de las canteras de Lonco Vaca y Green, por lo cual se considera a los mismos como representativos parciales del basamento de la cuenca. En la cantera Green, ubicada el NO de la localidad de Fortuna afloran granitos foliados siendo con Lonco Vaca las únicas manifestaciones del basamento en el sector sur de la provincia de San Luis.

Respecto al relleno de la cuenca, el único elemento tangible que permite teorizar sobre su composición es el afloramiento de sedimentitas ubicadas en la Estancia Los Cuatro Pozos, localizada al NE de Arizona. En ella se reconocen sedimentitas gris-moradas, suavemente plegadas, con rumbos oscilantes entre N 270° y N 0° y buzamientos de bajo grado (35°-5°) al



N, NE y E. Las rocas son relativamente compactas y las determinaciones realizadas en laboratorio indican que la porosidad alcanza el 20 %. El ambiente de sedimentación podría corresponderse con sectores proximales de abanicos aluviales. Los mismos se relacionarían a bordes de cuenca, asociados a fallamiento directo. Este hecho explica el alto gradiente gravimétrico observado entre Arizona y Lonco Vaca.

Es aceptable suponer que una parte del relleno de la cuenca de Nueva Galia sean sedimentitas como las arriba descritas. De acuerdo a [16] estas rocas poseen una edad paleozoica y fueron consideradas equivalentes a la Formación Arata [17] quien las asignó al Permo-Triásico. Rocas pegmatíticas y micacitas con características muy similares a los clastos observados en la Estancia Los Cuatro Pozos se reconocen en la Sierra de Lonco Vaca [18].

Estas sedimentitas nos permiten elaborar un modelo geológico que satisfaga esta anomalía gravimétrica. Para ello se determinaron las densidades de todas las rocas halladas en la región. Así tenemos que las rocas graníticas de la cantera Green varían entre 2,60 a 2,63 gr/cm^3 y las arcosas de la cantera de la Estancia Los Cuatro Pozos tienen un rango de amplitud mayor, de 2,41 a 2,57 gr/cm^3 . Tomando los promedios de ambas rocas se llega a un contraste de $-0.14 \text{ gr}/\text{cm}^3$. Para realizar el cálculo de la profundidad se determinó la diferencia entre las anomalías gravimétricas de Bouguer entre la cantera Green y el mínimo gravimétrico de Nueva Galia hallándose que la misma es de -9 miliGal (Figura 2 y 6).

No se evaluó la diferencia con la cantera de Lonco Vaca pues ésta se halla ubicada en una zona de alto gradiente gravimétrico, además de tener una composición rocosa muy heterogénea. En esta existe un gran rango de densidades que va desde las rocas gnéissicas con valores de $2,65 \text{ gr}/\text{cm}^3$ a las máficas que llegan a un máximo de $3,15 \text{ gr}/\text{cm}^3$. Utilizando los parámetros anteriormente mencionados se generó un modelo prismático que indica que la cuenca posee una profundidad menor a 1.650 m.

Para una mejor visualización de la configuración de las cuencas de la provincia de San Luis se elaboraron dos perfiles, uno norte-sur y en el otro oeste-este, que se visualizan en la Figura 2, correspondientes a las Figuras 7 y 8.

El perfil 1 (Figura 7) atraviesa, en el rumbo norte - sur, las cuencas de Las Salinas, Estancia La Daisy, de Beazley y la extensión este de la subcuenca de Alvear.

En el caso del perfil 2 (Figura 8), oeste - este, involucra las cuencas de Beazley y Mercedes. El trazado de los perfiles coincide con pozos de exploración petrolera. En el perfil de la Figura 7, se ha incorporado la ubicación de los pozos YPF SL Estancia La Daisy X-1 y YPF SL Sierra de Varela X-1.

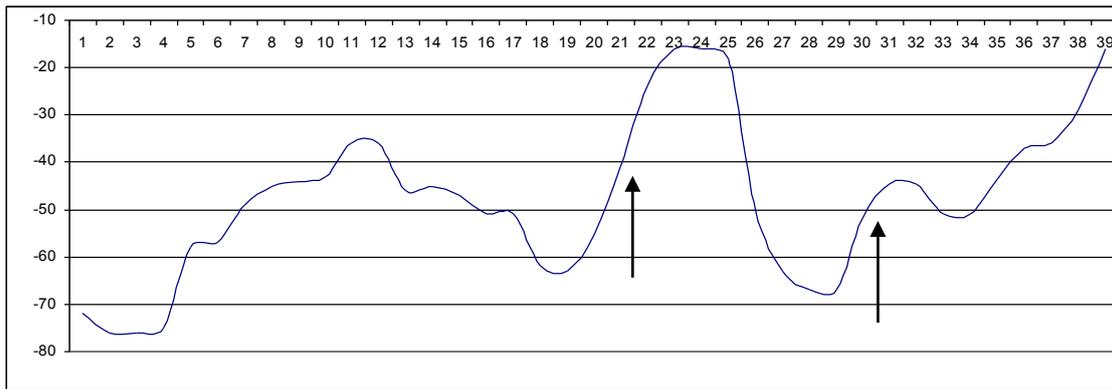


Figura 7.- Perfil de anomalías gravimétricas de Bouguer norte-sur desde la cuenca de Las Salinas (provincia de La Rioja) a subcuenca de Alvear en el límite con la provincia de La Pampa. Escala vertical en miliGal.

Para el caso del perfil oeste-este, Figura 8, se incluye el pozo YPF SL Beazley X-2 y la ubicación de la localidad de Beazley

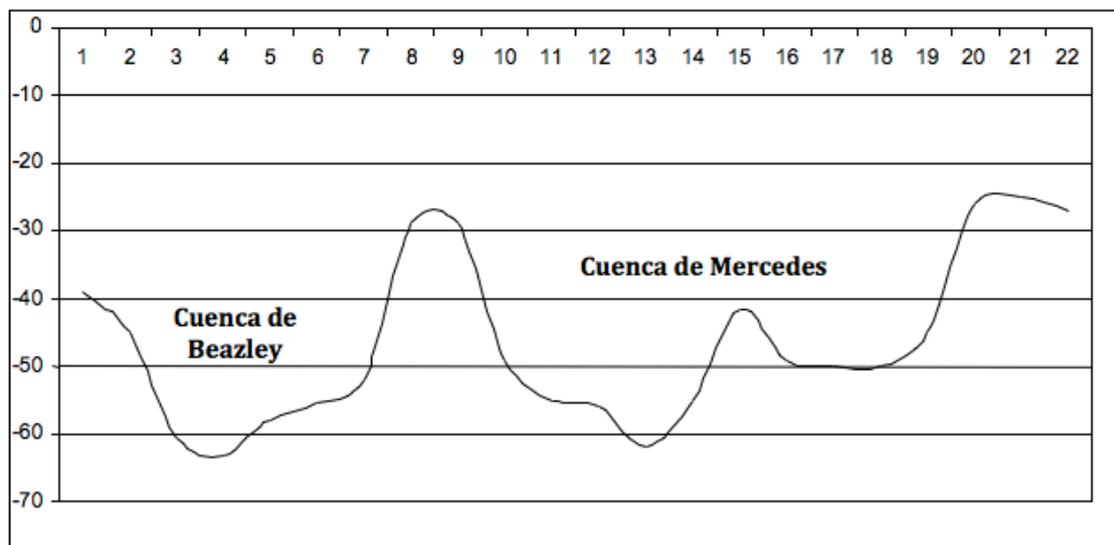


Figura 8.- Perfil de anomalías gravimétricas de Bouguer oeste-este desde el límite con la provincia de Mendoza hasta el límite con la provincia de Córdoba. Escala vertical en miliGal.

CONCLUSIONES

De las cuencas sedimentarias reconocidas en la provincia de San Luis, la de Las Salinas, Beazley y Alvear, cuentan con abundante cantidad de información geofísica y poseen buenas perspectivas de contener hidrocarburos. En la zona sur y centro de la provincia se reconocieron las cuencas de Mercedes y Nueva Galia. La cuenca de Las Salinas, con valores de -56 miliGal se corresponde a espesores cercanos a los 4.000 m y comprende sedimentos con edades que van desde el Carbonífero hasta el Cretácico superior, incluyendo depositación en el Terciario.

La cuenca de Estancia La Daisy representada por anomalías gravimétricas -50 miliGal, tiene un espesor total del orden de 5.000 m. El relleno se supone de características similares al de la cuenca de Las Salinas.



La cuenca de Beazley se define con mínimos del orden de -66 miliGal y una superficie de 6.500 km². Su relleno incluye rocas triásicas (Grupo Cerro Cocodrilo), y cretácicas del Grupo del Gigante.

La cuenca de Mercedes aparece en el sector centro de la provincia. Posee anomalías de grandes dimensiones (5.000 km²) y valores de -66 miliGal que permiten inferir un espesor de hasta 4.400 m., posiblemente compuesto por sedimentitas de edades triásicas y cretácicas.

En el sector sudoeste se observa a una extensión de la subcuenca de Alvear con dimensiones de 1.000 km² y espesores de hasta 2.300 m, conectándose posiblemente con la cuenca de Nueva Galia y la de Mercedes. Se considera que las unidades son de edades triásicas y en parte jurásicas.

En la zona sur de la provincia la cuenca de Nueva Galia, posiblemente rellena por sedimentos neopaleozoicos hace poco interesante la exploración petrolera.

REFERENCIAS

- [1] E.A. Azeglio, M.E. Giménez y A. Introcaso, 2008. Análisis de subsidencia de la Cuenca de las Salinas, Sierras Pampeanas occidentales. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*. 63 (4): 272-280.
- [2a] C.H. Costa, J.O. Gardini, A.E. Chiesa, G.E. Ortiz Suarez, D.L. Ojeda, G.C. Rivarola, E.N. Tognelli, A.O. Strasser, P.N. Carugno Duran, P.G. Morla, D.A. Guerstein y H.M. Vinciguerra, 2001. Hoja Geológica 3366-III. San Luis. Provincia de San Luis y Mendoza. Servicio Geológico Minero Argentino. Boletín N° 293. Buenos Aires.
- [2b] C.H. Costa, J.O. Gardini, A.E. Chiesa, G.E. Ortiz Suarez, D.L. Ojeda, G.C. Rivarola, A.O. Strasser, P.G. Morla, G. Ulaco, E.N. Tognelli, P.N. Carugno Duran, H.M. Vinciguerra y D. Salas, 2001. Hoja Geológica 3366-I. San Francisco del Monte de Oro. Provincia de San Luis, Mendoza y San Juan. Servicio Geológico Minero Argentino. Boletín N° 278. Buenos Aires.
- [3] M.R. Yrigoyen, 1981. Síntesis. Geología y recursos naturales de la provincia de San Luis. *Relatorio del 8° Congreso Geológico Argentino*: 7-32.
- [4] C.J. Schmidt, R.A. Astini, C.H. Costa, C.E. Gardini and P.E. Kraemer, 1995. Cretaceous rifting alluvial fan sedimentation and Neogene inversion, Southern Sierras Pampeanas, Argentina. En *Petroleum Basins of South America* (Ed. Tankard, A. J. et al.). AAPG Memoir 62: 341-358.
- [5] C.H. Costa, C.E. Gardini y C.J. Schmidt, 1995. La inversión tectónica de las cuencas del oeste de la provincia de San Luis. *Evolución tectosedimentaria de Cuencas de Antepaís*. Asociación Sedimentológica Argentina, Actas: 6, San Juan.
- [6] C.E. Gardini, C.H. Costa y C.J. Schmidt, C. 1996. Inversión tectónica en el sector Sierra de El Gigante-Alto Pencoso, Provincia de San Luis. XIII Congreso Geológico Argentino y III Congreso de Exploración de Hidrocarburos, Actas II: 267-281.



- [7] P. Criado Roque, C.A. Mombrú y V. Ramos, 1981. Estructura e interpretación tectónica. Geología y recursos naturales de la provincia de San Luis. Relatorio del 8° Congreso Geológico Argentino: 155-192.
- [8] R. Manoni, 1985. Geología del subsuelo de la Cuenca de Beazley. Boletín Informaciones Petroleras (YPF), Tercera época, II (4): 34-46, Buenos Aires.
- [9] J. Kostadinoff, D. Gregori, A.L. Raniolo, V. Lopez y L. Strazzere, 2006. Configuración geológica-geofísica del sector sur de la provincia de San Luis. Revista de la Asociación Geológica Argentina. 61 (2): 3-18.
- [10] J. Kostadinoff, D. Gregori, L.A. Raniolo y G.T. Alvarez, 2002. La prolongación austral de las sierras de San Luis. Revista de la Asociación Geológica Argentina. 57 (4): 359-364.
- [11] J. Kostadinoff, E. Bjerg, L.A. Raniolo y E. Santiago, 2003. Anomalías del campo gravitatorio y magnético terrestre en la sierra de Socoscora, provincia de San Luis. Revista de la Asociación Geológica Argentina. 58 (4): 505-510.
- [12] J. Kostadinoff y D. Gregori, 2004. Cuenca de Mercedes, provincia de San Luis. Revista de la Asociación Geológica Argentina. 59 (3): 388-391.
- [13] P. Criado Roque, 1979. Subcuenca de Alvear (Provincia de Mendoza). En II Simposio de Geología Regional Argentina (Ed. J.C.M. Turner). Academia Nacional de Ciencias, I, 811-836.
- [14] J. Kostadinoff, E. Llambías, L.A. Raniolo y G.T. Alvarez, 2001. Geología y Geofísica del sector Sudoriental de la provincia de La Pampa. Revista de la Asociación Geológica Argentina. 56 (4): 481-493.
- [15] J. Kostadinoff y E. Llambías, 2002. Cuencas sedimentarias en el subsuelo de la provincia de La Pampa. V Congreso de Exploración y Explotación de Hidrocarburos. Mar del Plata. Editado en CD.
- [16] E.E. de Elorriaga y J.O. Tullio, 1998. Estructuras del subsuelo y su influencia en la morfología en el norte de la provincia de La Pampa. 10° Congreso Latinoamericano de Geología y 6° Congreso Nacional de Geología Económica, Actas 3: 499-506. Buenos Aires.
- [17] J.H. Salso, 1966. La cuenca de Macachin, provincia de La Pampa. Revista de la Asociación Geológica Argentina. 21 (4): 107-117.
- [18] P.D. Parica, 1986. Petrología y geocronología del sector central de la sierra de Lonco Vaca. Revista de la Asociación Geológica Argentina. 41 (3-4): 270-289.



Caracterización Isotópica de agua, hielo y nieve en el Cordón del Plata, Mendoza, Argentina

Martínez, Daniel^(1,2), Vich, Alberto,⁽³⁾ Trombotto, Darío⁽³⁾, Quiroz Londoño, Mauricio^(1,2), Ferrante, Ángel⁽¹⁾ y Massone, Hector⁽¹⁾.

⁽¹⁾ Instituto de Geología de Costas y del Cuaternario, UNMdP, Funes 3350 7600 Mar del Plata, Argentina

⁽²⁾ IIMyC, CONICET- UNMdP, Funes 3350 7600 Mar del Plata, República Argentina

⁽³⁾ IANIGLA, CONICET C.C. 330 (5500) Mendoza, Argentina

demarti@mdp.edu.ar

RESUMEN

El Cordón del Plata forma parte de la Cordillera Frontal andina en el NW de la provincia de Mendoza y alcanza alturas de hasta unos 6000 msnm aproximadamente. En él, la cuenca del Río Blanco es una de las más importantes, abarca unos 300 km² y desemboca actualmente en el dique Potrerillos (1300 m s.n.m.). Desde el punto de vista de los efectos del “cambio climático”, se encuentra en un área donde el balance de masa en glaciares y permafrost de montaña está siendo estudiado con regularidad desde los años ‘80. El objetivo de este trabajo es efectuar una caracterización preliminar de los isótopos estables en agua superficial y subterránea, hielo y nieve a fin de contribuir al mejor conocimiento del aporte de éstos dos últimos al balance hídrico de la región. Se implementó una red de muestreo de agua superficial en seis puntos ubicados a diferentes altitudes, desde el piedemonte hasta más de 3000 m de altura, con frecuencia mensual; agua subterránea en las tres subcuencas que integran el Río Blanco, con frecuencia estacional, hielo (muestreo puntual) y precipitaciones líquidas y sólidas con muestreo por evento en dos sitios, a fin de construir la recta meteórica local. Juntamente, se efectuó el análisis químico por elementos mayoritarios, el que muestra que tanto para agua superficial como subterránea presentan composición diferente en cada subcuenca. La composición isotópica de lluvia y nieve es muy diferente, con valores “d” de 15 y 8 respectivamente; además, muestra claramente un efecto altitudinal y que la principal recarga al acuífero se da a partir del derretimiento de nieve.

INTRODUCCIÓN

El análisis de isótopos ambientales se ha convertido desde hace más de 40 años en uno de los métodos complementarios para el estudio de las aguas superficiales y subterráneas, más utilizado, siendo impulsado en los últimos años por la Agencia Internacional de Energía Atómica (AIEA) con sede en Viena. Las determinaciones isotópicas se han utilizado ampliamente para estudiar el ciclo del agua, y en particular los procesos relacionados con el movimiento del agua entre los diferentes arcos y procesos de este ciclo: humedad atmosférica, evaporación, transpiración, condensación, recarga de aguas subterráneas, y escorrentía [1]. Se emplean, principalmente, isótopos estables como oxígeno-18, deuterio, carbono-13, azufre-34 y nitrógeno-15; e isótopos radiactivos como el tritio y el carbono-14. En este artículo se abordará la utilización de los dos primeros, cuya utilidad en estos estudios ha sido largamente demostrada



[2]. Estos isótopos estables han sido, además, muy utilizados en regiones de climas fríos para estudiar la relación de la precipitación de nieve, su acumulación y derretimiento con el ciclo hidrológico de esa región [3]. El agua de derretimiento de nieve es, además, la que más contribuye a la recarga de las aguas subterráneas en muchos de estos ambientes [3] y por ello, comprender las respuestas hidrológicas de la cuenca ante el deshielo es crucial para la gestión de los recursos hídricos [4].

El objetivo de este trabajo es presentar una caracterización isotópica basada en oxígeno-18 y deuterio del agua de escorrentía, de precipitación y subterránea, de nieve y de hielo en la Cuenca del Río Blanco, provincia de Mendoza, en los Andes centrales de Argentina.

ÁREA DE ESTUDIO

La provincia de Mendoza, Argentina, se encuentra en los Andes Centrales (Figura 1). Estas montañas, entre Chile y Argentina, constan de 3 sectores principales: "Cordillera Principal", "Cordillera Frontal" y "Precordillera" e incluye el Cerro Aconcagua, el pico más alto del hemisferio sur. El piedemonte de la Cordillera de los Andes, donde se encuentra la capital de la provincia, la ciudad de Mendoza (820 msnm), tiene condiciones climáticas áridas a semiáridas. La precipitación media anual (lluvia y nieve) es de aproximadamente 240 mm, pero su distribución es heterogénea. Es más alta de mayo a octubre (nieve), aunque en verano hay lluvias cortas e intensas. La temperatura media anual es de 12,5 °C (enero: 21,3 °C y en julio: 3,6 °C). El Cordón del Plata integra la Cordillera Frontal y comprende un sector de la cuenca alta del Río Mendoza. El agua superficial en esta zona se caracteriza por arroyos y ríos que fluyen hacia el Río Mendoza, como el Río Blanco. La cuenca del Río Blanco tiene un área de 150 Km² y presenta alturas que van desde 5000 hasta 1300 msnm en una distancia de 20 km. Comprende tres subcuencas principales: Alto Las Vegas (hacia la divisoria sur), la del Río Blanco propiamente dicha en el sector central, y Alto Manantiales (en la divisoria norte). El agua subterránea comprende un acuífero freático en un medio poroso clástico, heterogéneo, típico de abanicos aluviales. Los registros incompletos de la estación meteorológica de Vallecitos, situada en el sector intermedio de la cuenca a unos 2470 m snm, sugieren una temperatura media anual de aproximadamente 5 °C y 450 mm de precipitación.



Figura 1. Provincia de Mendoza. El círculo negro indica la posición de la Cuenca del Río Blanco; el verde, de la ciudad capital.

En la cuenca bajo estudio no existen antecedentes de estudios isotópicos, mientras que éstos son escasos en el resto de la Provincia; en los últimos 20 años se ha realizado una caracterización isotópica regional de las aguas superficiales, de las subterráneas y de la precipitación en la ciudad de Mendoza y se han identificado las principales áreas de recarga del acuífero [5], [6], [7].

MÉTODO O DESARROLLO EXPERIMENTAL

Con el fin de caracterizar la composición isotópica de los diferentes componentes del ciclo del agua en la cuenca seleccionada, se diseñó una red de muestreo que consta de seis puntos de toma de muestras mensuales de agua superficial a diferentes alturas, dos perforaciones para la toma de agua subterránea con frecuencia trimestral, dos puntos de muestreo de agua de lluvia acumulada mensual, dos puntos de muestreo de nieve depositada (“snowpack”) y un punto de muestreo de hielo (glaciar de escombros); además, se instalaron tres muestreadores de agua de derretimiento de nieve (“snowmelt”), de tipo Frisbee [8]. La composición isotópica en $\delta^2\text{H}$ y $\delta^{18}\text{O}$ de las muestras se determinó mediante un espectrómetro láser DLT-100 en el Instituto de Geología de Costas y del Cuaternario (UNMdP); los resultados son expresados como desviación isotópica δ ‰, usando como referencia V-SMOW.

En todos los casos el muestreo se realizó siguiendo la técnica sugerida por el organismo Internacional de Energía Atómica [9].



RESULTADOS

Precipitación

Los colectores de agua de lluvia (Figura 2) fueron instalados en noviembre de 2010 en la ciudad de Mendoza (826m snm; muestra LCR) y en Colonia Suiza (1200 m snm; muestra LCS). El tercer colector en Vallecitos (2750 m snm, muestra LVA) recién pudo entrar en operación recientemente y no se dispone de datos todavía.

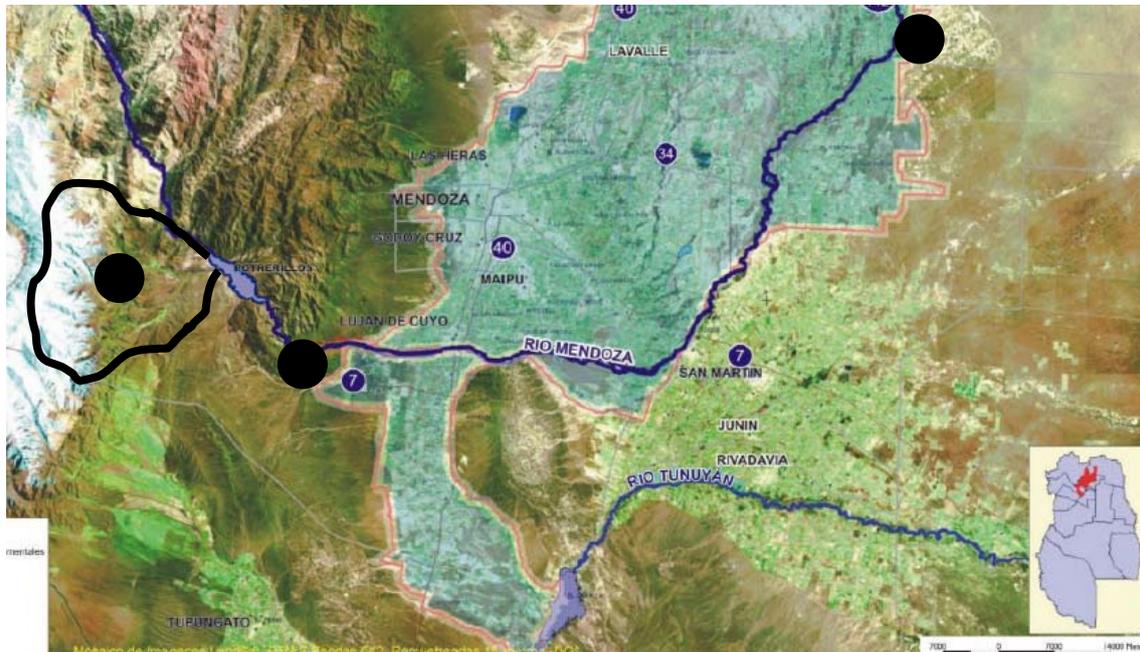


Figura 2. Ubicación de los colectores de agua de lluvia.

Con los datos provenientes de estos dos colectores, pudo construirse la recta meteórica local (RML), tal cual se muestra en la Figura 3.

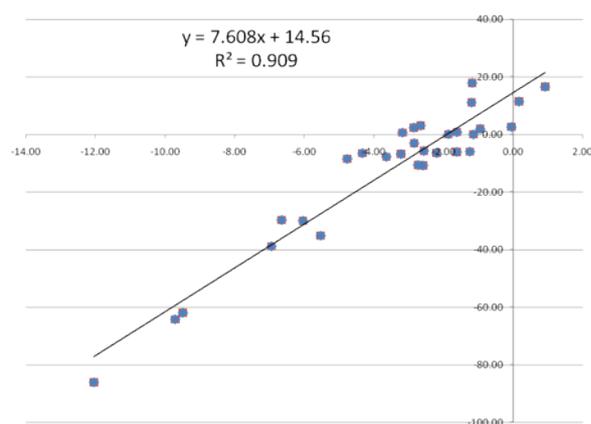


Figura 3. Recta meteórica local.

Agua Superficial, agua subterránea, hielo y nieve

Para el análisis isotópico de agua superficial se seleccionaron 6 puntos de muestreo según se detalla en la Tabla I y Figura 4.



Punto	Muestra	LAT S	LONG W	ALT(msnm)
1	SQP	32°58' 42.1"	69°21' 15.3"	2786
2	SBA	32°59' 10.5"	69°20' 59.11"	2587
3	SLM	32°02' 28.1"	69°18' 53"	2307
4	SBB	32°59' 32.47"	69°15' 8.24"	1660
5	SBC	32°59' 31.75"	69°15' 4.94"	1645
6	SES	32°57' 59.5"	69°14' 30.3"	1570

Tabla I. Puntos de muestreo de agua superficial

Se cuenta hasta el momento con unas 115 muestras cuyos resultados isotópicos promedio se muestran en la Figura 4

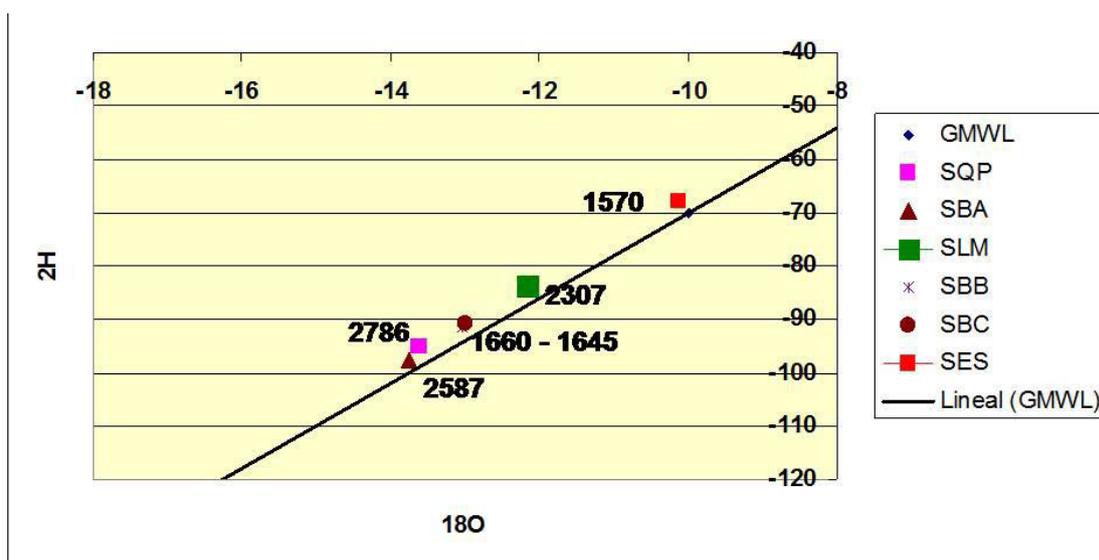


Figura 4. Valores de desviación isotópica promedio en agua superficial. Los números expresan alturas en msnm.

En la Figura 5 se muestra la serie de tiempo de $\delta^{18}\text{O}$ para cada una de las muestras desde setiembre de 2010 hasta enero de 2012

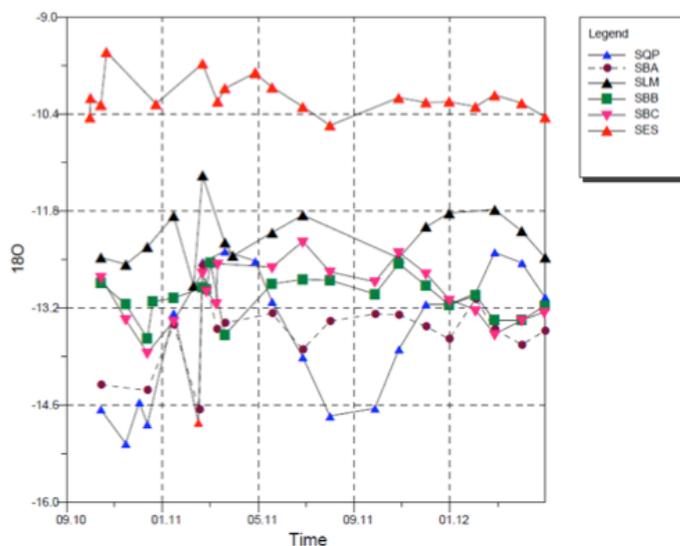


Figura 5. Serie de tiempo $\delta 18O$

Con respecto al agua subterránea, existen muy escasas perforaciones ya que el abastecimiento se realiza mediante agua superficial. Para este estudio se localizaron solo dos perforaciones aptas para el muestreo, a partir de las cuales se dispone de datos desde el verano de 2011. (Tabla II, Figura 6).

Muestra	LAT S	LONG W	Prof. (m)	Entub. (m)
GRO	32°57' 23"	69°16' 23.6"	26	26
GPI	33°00' 37.23"	69°16' 10.61"	142	87

Tabla II. Puntos de muestreo de aguas subterráneas

Los resultados isotópicos de estas muestras se pueden observar en la Figura 5.

El muestreo de nieve se realizó en dos lugares (muestras NVA y NQP, Tabla III, Figura 6) en forma mensual durante el invierno 2011; para el invierno 2012 se sumaron otros dos (muestras NCP y NLM) de las que todavía no se dispone de resultados.

Muestra	Alt. (msnm)
NVA	3100
NQP	2700
NCP	2850
NLM	2300

Tabla III. Puntos de muestreo de nieve

Con los resultados obtenidos de NVA y NQP se construyó la línea isotópica de nieve que se muestra en la Figura 7, en la que se aprecia que se disponen según una recta muy aproximada a la GMWL.



Figura 6. Puntos de muestreo de agua superficial, agua subterránea y nieve

El muestreo de hielo se realizó en el verano de 2011, mediante una muestra del glaciar de escombros “Morenas Coloradas”, a 3700 m snm y a una profundidad en el hielo de 3,4 metros.

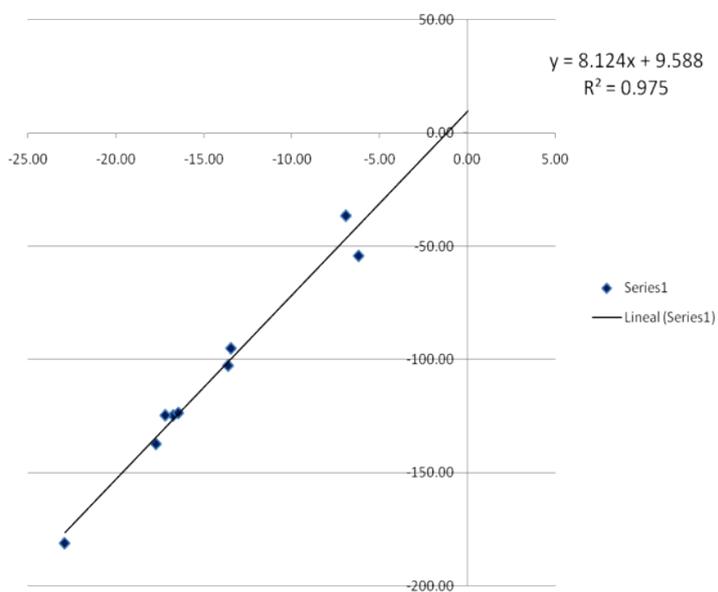


Figura 7. Línea isotópica de nieve

En la Figura 8 se han volcado los resultados obtenidos a partir de todas las muestras analizadas.

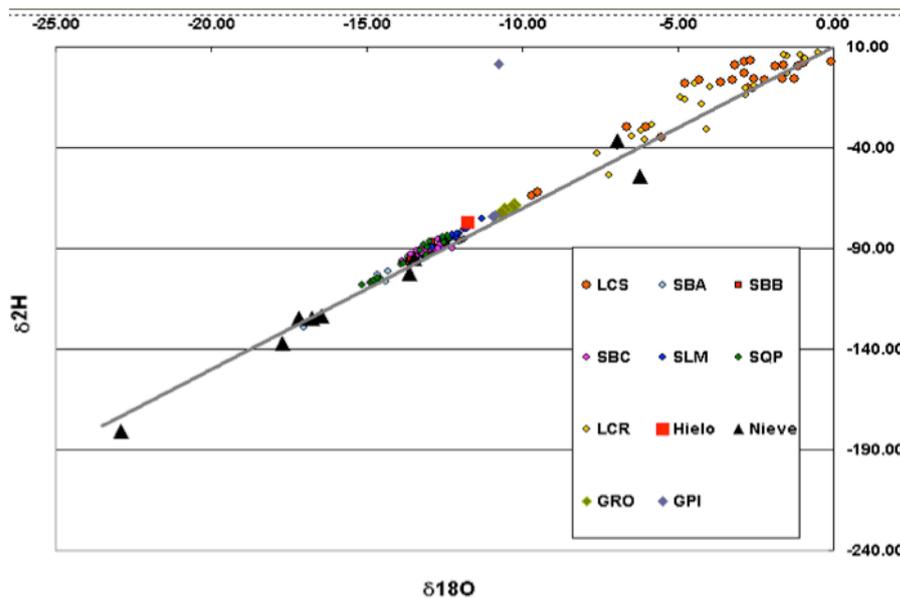


Figura 8. Resultados isotópicos

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos hasta el presente indican una fuerte influencia de la altitud de todos los parámetros isotópicos y el dominio del derretimiento de nieve en la hidrología de la cuenca.

Los datos de isótopos estables proporcionan algunas evidencias claras sobre el origen del agua de los cursos superficiales. La composición isotópica del agua de lluvia recogida en los colectores colocados en Colonia Suiza (LCS 1200 m snm) y en la ciudad de Mendoza (LCR 816 msnm) muestra resultados que van desde el -0,3 ‰ y -8,3 ‰ para $\delta^{18}\text{O}$ y -45,0 ‰ y 0,0 ‰ para $\delta^2\text{H}$. Debe considerarse que se han muestreado eventos, atento a las muy bajas precipitaciones en la zona. El agua de lluvia se presenta enriquecida en la mayor parte de los casos, posiblemente como consecuencia de la extrema sequedad del ambiente que podría generar un enriquecimiento durante la precipitación, y de un fraccionamiento según el cual las precipitaciones empobrecidas se dan en forma de nieve.

La composición isotópica del agua de los arroyos muestra una variación de -16,0 ‰ a -11,0 ‰ para $\delta^{18}\text{O}$ y de -110,0 a -75,0 ‰ para $\delta^2\text{H}$. Se aprecia que existe un efecto de la altitud afecta a las muestras de agua de los arroyos, siendo las muestras SQP (2786 m) la más empobrecidas, y las muestras SBC (1645) las más enriquecidas; sin embargo, las muestras de SLM (2307 m snm) presentan los valores más enriquecidos. Existe, entonces, una aparente inversión en el efecto de la altitud: los valores medios en SBA (2587 msnm), están más empobrecidos que en SQP (2736 msnm); los valores promedio en SLM (2307 msnm) que están más enriquecidos que la composición isotópica de SBB (1660 msnm) y SBC (1645 msnm), reflejan que la composición isotópica del agua de los arroyos no está determinada por la altitud del punto de muestreo, sino más bien por la altitud de la nieve que se derrite y que aporta a ese punto. De hecho, mientras que las mayores altitudes en la cuenca central Rio Blanco, son de algo más de 6000 m snm, en la subcuenca Alto las Vegas (hacia la divisoria



sur), las mayores alturas son de 4.800 m, lo que se refleja en la composición más enriquecida de las muestras SLM. Una situación similar se produce entre SQP y SBA, dado que ésta última se encuentra sobre el curso principal del Rio Blanco, donde se verifican las mayores alturas.

La composición isotópica de la nieve a 2800 m snm es $-102,69\%$ para $\delta^2\text{H}$ y $-13,62\%$ para $\delta^{18}\text{O}$, y la composición de hielo de Morenas Coloradas a 3700 m snm aproximadamente es $-77,10\%$ para $\delta^2\text{H}$ y $-11,77\%$ para $\delta^{18}\text{O}$.

La composición isotópica del agua de lluvia en LCS y LCR es más enriquecida que el agua de los arroyos, lo que indica claramente que las fuentes de provisión de agua de los arroyos están a mayor altitud; además se evidencia que el derretimiento de la nieve es su fuente principal de agua. Sólo muestras de la capa superior de nieve han sido analizadas hasta el momento. Estas se ubican en el gráfico por debajo de las líneas meteóricas mundial y local por lo que, teniendo en cuenta la evolución teórica de los isótopos, la composición del agua en SQP, por ejemplo, corresponde a la primer agua de deshielo [10], sin fraccionamiento. La composición isotópica del hielo es más enriquecida que los arroyos, lo que indica que el derretimiento de nieve es la fuente principal de alimentación del sistema hidrológico.

El agua subterránea tiene una composición algo más enriquecida que el agua superficial y más empobrecida que las precipitaciones en forma de lluvia. Su origen entonces se debería a la infiltración en el lecho de los ríos o del derretimiento de nieve en forma directa, algo enriquecido por evaporación en la zona no saturada y/o mezcla con excedentes de agua de lluvia.

En síntesis el agua de derretimiento de nieve es la principal contribución al ciclo hidrológico, dejando expresada claramente su procedencia en lo que hace a la altitud en la firma digital isotópica. No se observan efectos de fraccionamiento por sublimación en el agua de deshielo, ni evaporación en los cursos superficiales. La infiltración del agua en los lechos sería la principal fuente de recarga de agua subterránea, pero también la infiltración directa de agua de deshielo.

REFERENCIAS

- [1] J. Lee, X. Feng, A. Faiia, A. Posmeinter, J. Kirchner, R. Osterhuber and S. Taylor, 2010. Isotopic evolution of a seasonal snowcover and its melt by isotopic exchange between liquid water and ice. *Chemical Geology* 270, 126-134
- [2] L. Gourcy, M. Groening and P. Aggarwal, 2007. Stable oxygen and hydrogen isotopes in precipitation. in: *ISOTOPES IN THE WATER CYCLE: PAST, PRESENT AND FUTURE OF A DEVELOPING SCIENCE*. Edited by P. Aggarwal, J. Gat and K. Froehlich. IAEA.
- [3] P. Koeniger, J. Hubbasrt, T. Link and J. Marshall, 2008. Isotopic variation of snow cover and streamflow in response to changes in canopy structure in a snow-dominated mountain catchment. *Hydrological Processes*, 22, 557-566
- [4] J. Lundquist and J. Cayan, 2002. Seasonal and spatial patterns in diurnal cycles in streamflow in the western united states. *J. Hydrometeorol.* 3, 591-603.



- [5] H. Panarello, C. Dapeña, E. Garcia, y A. Alvarez, 1993. Estudio isotópico e hidroquímico de los acuíferos de la Cuenca Norte mendocina, Ríos Mendoza y Tunuyan. XII Congreso Geológico Argentino, Actas, Tomo VI, Mendoza.
- [6] H. Panarello, y C. Dapeña, 1996. Mecanismos de recarga y salinización en las Cuencas de los Ríos Mendoza y Tunuyán, República Argentina. Memorias del XII Congreso Geológico de Bolivia, Tomo II.
- [7] C. Dapeña, 2008. Isótopos Ambientales Livianos: su aplicación en hidrología e hidrogeología. Tesis de Doctorado, UBA, Buenos Aires.
- [8] M. Frisbee, F. Phillips, A. Campbell and J. Hendrickx, 2009. Modified passive capillary samplers for collecting samples of snowmelt infiltration for stable isotope analysis in remote, seasonally inaccessible watersheds 1: laboratory evaluation. Hydrological Processes. Published online in Wiley InterScience (www.interscience.wiley.com) DOI: 10.1002/hyp.7523
- [9] P. Aggarwal, L. Araguas, W. Garner, M. Groening and K. Kulkarni, 2007. Introduction to water sampling and analysis for isotope hydrology. IAEA, Isotope Hydrology Section.
- [10] I. Clark and P. Fritz, 1998. Isotope Tracers in Catchment Hydrology. Kendall and McDonnell (Eds.), 352 pp.



Proyecto de elaboración del Atlas de peligros de Mendoza

Emilia Molina (1), José Lambarri (2), EmilceVaccarino (3), Agustín Espejo(4), Gabriel Miner (5), Jorge Barón(6).
(1-6) ICES Regional Mendoza
ices@uncu.edu.ar | ices.uncuyo@gmail.com

RESUMEN

El presente trabajo tiene como objetivo fundamentar la necesidad de elaborar un Atlas de peligros en la Provincia de Mendoza como herramienta que contribuya a la Gestión del Riesgo de Desastres (GDR). Se expone la situación del medio geográfico de Mendoza y los principales fenómenos naturales o antrópicos que, por sus características y registro histórico tienen posibilidad de ocurrencia y pueden ser detonantes de algún desastre. Posteriormente se plantean elementos conceptuales y metodológicos acerca de la GDR, y del atlas en particular, así como los alcances y posibilidades de uso del mismo.

INTRODUCCIÓN

Vivimos en una época en donde se tratan de impulsar acciones dirigidas a la planificación del territorio dentro de un esquema de sustentabilidad y desarrollo integral de la población, tanto a nivel nacional como provincial, en las que se incorporan estudios y políticas que refieren a la gestión de riesgo de desastres. En ese sentido, en la actualidad existen grandes avances, sin embargo es necesaria una mayor inversión de recursos técnicos y humanos para lograr pasar de un esquema y cultura reactiva a una preventiva. Esta nueva ideología permitirá garantizar una sociedad más preparada y segura frente a los potenciales daños ocasionados por los peligros en la Provincia de Mendoza.

De ese modo, la elaboración de un atlas de peligros resulta valiosa como herramienta estadística y cartográfica que permita ser base de estrategias de protección orientadas a reducir los riesgos, así como los costos sociales y económicos de los desastres; el conjunto de mapas de peligros que conforma el atlas describe una serie de atributos y particularidades dentro de un Sistema de Información Geográfica (GV-SIG) y es útil para el despliegue y consulta de información de manera sencilla, ágil y oportuna en el tema de atención a desastres.



OBJETIVO GENERAL

Elaborar un atlas de peligros naturales y antrópicos de Mendoza que brinde elementos para el análisis y toma de decisiones referentes al ordenamiento territorial y la gestión del riesgo de desastres en la provincia.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Recopilar, integrar, estandarizar y generar información acerca de los peligros naturales y antrópicos existentes en Mendoza.
- Elaborar una serie de mapas temáticos que representen la espacialidad de cada uno de los peligros que tienen posibilidad de afectación, de acuerdo al origen del agente perturbador.
- Recopilar y estandarizar información relativa a aspectos sociales de Mendoza que aporten elementos e indicadores sobre vulnerabilidad social.
- Identificar y zonificar áreas de acuerdo al grado de exposición y posible afectación según la presencia de determinado peligro y la vulnerabilidad de la población.

Medio geográfico de Mendoza y desastres

La humanidad se ha vinculado con su entorno natural en función de satisfacer sus necesidades con el fin de asegurar su reproducción a lo largo de la historia, desde un primer momento los distintos grupos han convivido con la manifestación de fenómenos naturales propios de cada una de las regiones del planeta, situación que ha llevado en principio a buscar la explicación de los mismos y, posteriormente a la búsqueda de acciones y estrategias para tratar de reducir los efectos negativos que recaen en la sociedad.

En ese sentido, es en el siglo XX cuando la consolidación de la ciencia moderna hizo que, cada una de las parcelas del conocimiento definiera rasgos y metodologías de estudio referentes a los peligros, riesgos y desastres detonados por algún agente natural o antrópico; además de la incorporación del componente social como elemento fundamental dentro de la construcción de la vulnerabilidad y riesgo. De ese modo se concibió el concepto de gestión de riesgo de desastres y ha sido punto de partida para emprender acciones y políticas encaminadas a la reducción del riesgo, debido al carácter integral y multisectorial que posee.

Asimismo, ante los constantes y masivos daños que aún ocurren en la población por efectos de los desastres, el convencimiento de la construcción social del riesgo y la posibilidad de reducir los efectos negativos, ha priorizado la puesta en la agenda internacional del tema de parte de la esfera gubernamental, dentro de la cual se puede mencionar como el antecedente de consenso más directo el acuerdo de la Asamblea General de las Naciones Unidas de mediante la declaración del “Decenio Internacional para la Reducción de los Desastres Naturales” (DIRDN) para los años 1990-1999, bajo el lema de construir una cultura de prevención; en ese marco, en el año de 1994 se realizó la Conferencia Mundial sobre la Reducción de los Desastres Naturales en Yokohama, Japón, durante la cual se diseñó la “Estrategia y Plan de Acción de Yokohama para un Mundo más Seguro” (Estrategia de



Yokohama), misma que resaltó que todos los países “tienen la responsabilidad soberana y fundamental de proteger a su población, su infraestructura y su patrimonio nacional, social y económico de los efectos de los desastres de origen natural” (Vivir con el Riesgo: Informe mundial sobre iniciativas para la reducción de desastres, 2004)[1].

Posteriormente al DIRDN, la misma Asamblea General de las Naciones Unidas resolvió establecer la Estrategia Internacional para la Reducción de Desastres en el año 2000, con el fin de dar seguimiento y fomentar las actividades y compromisos para la reducción de desastres con la premisa de involucrar los aspectos tanto físicos como socioeconómicos de la vulnerabilidad en la evaluación y la gestión del riesgo de desastres, además de la atención sobre los peligros y sus consecuencias materiales. Esto ha proyectado la incorporación del riesgo de desastres en el contexto del desarrollo sostenible, tal y como lo señala el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) que, particularmente para el ámbito de la gestión del riesgo de desastres la orientación es proporcionada por el Marco de Acción de Hyogo que fue aprobado por 160 países en la Conferencia Mundial 2005 sobre la Reducción de Desastres en Kobe, Japón (El riesgo de desastres en la planificación del territorio, Ministerio de Planificación Federal, Inversión Pública y Servicios, Argentina, 2010)[2] y proyecta para el 2015 el aumento de la resiliencia de las naciones y las comunidades ante los desastres.

Para el caso de Argentina, se ha buscado mejorar las capacidades de gestión del riesgo de desastres a nivel nacional y local mediante el Programa Nacional de Prevención y Reducción de Riesgos y Desastres y Desarrollo Territorial, ejecutado por la Subsecretaría de Planificación Territorial del Ministerio de Planificación Federal, Inversión Pública y Servicios; el cual se adhiere al Plan Estratégico Territorial (PET), en el que se entiende a la planificación territorial como herramienta para lograr el desarrollo sustentable y superar los desequilibrios territoriales, y la gestión del riesgo de desastres juega un papel prioritario con el objetivo de eliminar, controlar o mitigar los efectos negativos que los fenómenos naturales o antrópicos pueden ocasionar. Finalmente, en 2008 se constituyó de manera formal la Plataforma Nacional para la Reducción de Riesgo de Desastres.

La Provincia de Mendoza no ha sido ajena al tratar de incluir la temática sobre gestión de riesgo de desastres, puntualmente ha sido aprobada recientemente la Ley Provincial 8051 de Ordenamiento Territorial, en la que dentro de otros fines, contempla la gestión de riesgo de desastres directamente relacionada al territorio y su correcto uso.

Ahora bien, es necesario hacer una consideración referente al entorno natural de Mendoza que posee particularidades geológicas y ambientales que, combinadas con las condiciones socioeconómicas históricas, constructoras de vulnerabilidad social y espacios riesgosos, han dado lugar a la manifestación de desastres a lo largo del tiempo, hecho que resalta y pone énfasis en la gestión de riesgos de desastres.

De acuerdo al “Documento País: Riesgos de desastres en Argentina” (2009:117)[3], en la región de Cuyo se presentan una serie de distintas amenazas que, tomando como fuente la base de datos de DesInventar Argentina, las principales en cuanto a su recurrencia son las nevadas, inundaciones, tempestades, granizadas e incendios forestales; sin embargo los



sismos y aluviones, también presentes, son fenómenos con menor frecuencia pero con mayores daños destructivos asociados. Al considerar la misma base de datos, de acuerdo a la publicación de “El riesgo de desastres en la planificación del territorio” (2010: 135) entre los años 1970 y 2004 se han registrado 775 eventos de desastre de los cuales el 74.6% son de origen hidrometeorológico y corresponden a 22.8% a nevadas, el 14,1% a inundaciones, el 12,3% a tempestades y el 11,2% a granizadas.

Las nevadas tienen ocurrencia normalmente en la época invernal y de transición estacional, con un registro de 178 eventos para el mismo periodo (1970-2004) concentradas principalmente en los departamentos de Las Heras (66.7%), Malargüe (12.4%) y Luján de Cuyo (7.9%) y el resto se distribuyen, en menor medida, en Capital, General Alvear, Lavalle, San Carlos, San Rafael, Tunuyán y Tupungato. Entre los efectos negativos se registraron 17 muertes, 650 evacuados y 32 viviendas destruidas.

En segundo lugar se encuentran las inundaciones, detonadas principalmente por el desbordamiento de cursos de agua (en el 72% de los casos) asociados por lo general al deshielo en las partes altas de las cuencas y a las lluvias en el 24.6% de los casos. Los ríos que se han desbordado en Mendoza son el Atuel, Mendoza, Diamante y Tunuyán; y los efectos registrados son 14 muertos 7. 043 evacuados, 13 viviendas destruidas 88. 868 hectáreas de cultivos dañadas.

Por otro lado se tiene el registro de 95 eventos de tempestades con afectación a 15 Departamentos de la Provincia, siendo San Rafael el que concentró el mayor porcentaje de los eventos equivalente al 33%; entre los impactos que hubo se pueden mencionar a 17 muertos, 1.607 evacuados, 367 viviendas destruidas y 226 viviendas afectadas; además de un gran impacto económico, ya que tan sólo en 1994 provocó pérdidas por 30 millones de dólares. Las granizadas también se han caracterizado por las cuantiosas pérdidas económicas ocasionadas, principalmente en el sector agrícola.

Respecto a la cuestión geológica existe la posibilidad de ocurrencia de sismos y erupciones volcánicas, estas últimas en el sur de la Provincia. La actividad sísmica en Argentina está asociada a la convergencia entre las placas de Nazca y Sudamericana, en donde la primera subduce sobre la Sudamericana, produciendo un empuje de aproximadamente 11 centímetros por año [*ídem*]; y a pesar de la menor recurrencia de sismos de magnitud considerable, presentan un potencial de daño muy elevado; por ejemplo se puede mencionar que son los eventos considerados como la primera causa de muerte por desastres en la región de Cuyo (30.8% del total) así como la primera causa de destrucción de viviendas (85.4% del total), además de la alta susceptibilidad de daño en infraestructura vial, de servicios vitales, agropecuaria, educativa, etc. El registro sísmico tiene antecedentes importantes en la Provincia, de acuerdo a información del Instituto Nacional de Prevención Sísmica(INPRES)[4] se tiene un listado de 16 sismos de importancia considerable en Mendoza (Ver anexo).

Cabe señalar que los desastres no deben ser reducidos a un evento dañino concentrado en tiempo y espacio, sino que son producto de un proceso de construcción social de carácter multidimensional en donde la forma en que se relaciona la sociedad con la naturaleza juega



un papel importante a considerar; si bien los fenómenos naturales característicos de cada región pueden ser identificables y cuantificables, no pueden ser del todo previsible, además de que se deben considerar una serie de elementos de tipo social, económico, político y cultural que, en su conjunto contribuyen a la condición de vulnerabilidad social de las personas que habitan esos territorios y a su situación de riesgo de desastre detonado por algún evento, ya sea de origen natural o antrópico.

En ese sentido, es fundamental que las instituciones gubernamentales en sus diferentes niveles de gobierno, así como dependencias especializadas e instituciones científico-académicas desarrollen y promuevan proyectos e información relativa a los peligros naturales como parte importante dentro de la Gestión del Riesgo de Desastres (GRD).

La gestión del riesgo de desastres es entendida como “un proceso social complejo cuyo fin último es la reducción o la previsión y control permanente del riesgo de desastre en la sociedad, en consonancia con, e integrada al logro de pautas de desarrollo humano, económico, ambiental y territorial, sostenibles. Admite, en principio, distintos niveles de coordinación e intervención que van desde lo global, integral, lo sectorial y lo macro-territorial hasta lo local, lo comunitario y lo familiar” (Lavell, 2003: 30)[5].

Es importante mencionar que la GRD no equivale solamente a la prevención y mitigación, ya que se basa en el riesgo y éste se encuentra presente en todos los ámbitos del proceso y abarca formas de intervención muy variadas que van desde la formulación de políticas y estrategias hasta la implementación de acciones e instrumentos de acción y control (Narváez, 2009: 34)[6], ese debe ser el enfoque permanente.

En relación a lo anterior y considerando el gran desarrollo tecnológico computacional, satelital, digital, cartográfico, etc., que existe en la actualidad, sumado al potencial de documentación, información, capacidad técnica y académica es impostergable su utilización en la búsqueda de beneficios para la sociedad, resulta pues un peldaño importante en la consecución de una gestión integral y dinámica del riesgo de desastres, correctiva y prospectivamente hablando, es por ello que, dentro del sistema GEMAS, el atlas de peligros contribuye al logro de la reducción y control de los factores de riesgo. Así mismo la relación interinstitucional, la participación gubernamental, académica, organizaciones y sociedad civil debe cimentarse de manera transversal pero a la vez regirse por una clara delimitación de funciones, roles y responsabilidades.

Marco conceptual dentro de la Gestión de Riesgo de Desastres

Dentro del análisis de riesgos de desastre existen una serie de conceptos clave que es necesario considerar para tratar de homologar la terminología entre los distintos ámbitos así como para la comprensión del usuario final del sistema GEMAS y del atlas en particular. Cabe señalar que dentro de la EIRD [7] existe una terminología establecida, la cual parece muy básica y, a fin de enmarcarse en una sola corriente, hemos tomado en cuenta las definiciones brindadas por Allan Lavell en su documento “Sobre la Gestión del riesgo: Apuntes hacia una Definición” (2002)[8], entre los principales podemos distinguir los siguientes:



Lavell señala que el **riesgo** “se refiere a un contexto caracterizado por la probabilidad de pérdidas y daños en el futuro, las que van desde las físicas hasta las psicosociales y culturales. El riesgo constituye una posibilidad y una probabilidad de daños relacionados con la existencia de determinadas condiciones en la sociedad, o en el componente de la sociedad bajo consideración (individuos, familias, comunidades, ciudades, infraestructura productiva, vivienda etc.). El riesgo es, en consecuencia, una condición latente que capta una posibilidad de pérdidas hacia el futuro. Esa posibilidad está sujeta a análisis y medición en términos cualitativos y cuantitativos”.

El mismo autor nos dice que la **amenaza** “refiere a la posibilidad de la ocurrencia de un evento físico que puede causar algún tipo de daño a la sociedad”.

Y en cuanto a la **vulnerabilidad** comenta que “se refiere a una serie de características diferenciadas de la sociedad, o subconjuntos de la misma, que le predisponen a sufrir daños frente al impacto de un evento físico externo, y que dificultan su posterior recuperación. Es sinónimo de debilidad o fragilidad, y la antítesis de capacidad y fortaleza. La vulnerabilidad es en fin la propensión de una sociedad de sufrir daño o de ser dañada, y de encontrar dificultades en recuperarse posteriormente.”

Así mismo, el **desastre** “es el fin de un proceso, a veces muy largo, de construcción de condiciones de riesgo en la sociedad. El desastre es la realización o concreción de las condiciones de riesgo preexistentes en la sociedad. Esta realización ocurre en el momento en que un determinado evento físico, sea este un huracán, sismo, explosión, incendio, u otro ocurre y con ello muestra las condiciones de vulnerabilidad existentes, revela el riesgo latente y lo convierte en un producto, con consecuencias en términos de pérdidas y daños.”

Finalmente, la **resiliencia** “es la capacidad de un ecosistema o de una comunidad de absorber un impacto negativo o de recuperarse una vez haya sido afectada por un fenómeno”.

El Atlas de peligros de Mendoza - aspectos metodológicos

El objetivo principal de elaborar el Atlas de peligros de Mendoza es identificar gráficamente aquellos elementos del medio natural y antrópico que tienen posibilidad de ocurrencia y afectación sobre la población de la Provincia en base al conocimiento científico; el atlas, en principio permitirá conocer dónde, cuándo y cómo los peligros tienen posibilidad de afectación, además proporcionará las características y niveles actuales de riesgo ante los fenómenos y brindará elementos para el análisis, diseño de acciones, programas, así como la toma de decisiones referentes al ordenamiento territorial y la gestión del riesgo de desastres; finalmente, será un elemento más para la preparación e información de la población, convirtiéndose a grandes rasgos un instrumento cotidiano de trabajo y herramienta de consulta.

El Atlas se compondrá de varios mapas que representan espacialmente a las amenazas con posibilidad de ocurrencia en la Provincia de Mendoza; para ello se tendrá en cuenta el origen del agente perturbador que puede generar un desastre, de modo que se incluirán los naturales (como geológicos e hidrometeorológicos) y antrópicos.



En un primer momento los peligros serán identificados e interpretados por especialistas o bien por un grupo interdisciplinario, en dependencia de la recopilación de información existente, se continuará con la integración y estandarización de la misma para su posterior representación cartográfica en cada mapa temático dentro del Sistema de Información Geográfica GV-SIG.

En un futuro la idea es continuar con el trabajo particularmente con la profundización de la información relativa a aspectos socioeconómicos de la población de Mendoza, que aportarán elementos e indicadores sobre vulnerabilidad social y así se podrá realizar una zonificación de acuerdo al riesgo y posible afectación de la población para cada uno de los peligros. El procedimiento general para la elaboración del Atlas de peligros de Mendoza se puede resumir en los siguientes aspectos:

- Identificación de los fenómenos naturales y antrópicos que pueden afectar la zona de estudio, en este caso la Provincia de Mendoza.
- Determinación del peligro asociado a los fenómenos identificados.
- Identificación de los sistemas expuestos.
- Evaluación de los niveles de riesgo asociado a cada tipo de fenómeno.

La expresión de un peligro representado en un mapa asocia su distribución espacial en el territorio con la probabilidad de su ocurrencia en un lapso de tiempo. Los mapas representan la intensidad del fenómeno de estudio, mediante una clasificación representada con una escala de colores, con una base cartográfica, que puede ser una carta topográfica, la división administrativa, etc.

Los peligros que se considerarán son los siguientes, de acuerdo al origen del fenómeno o agente detonante:



Peligros Geológicos:	✚ Sismos
	✚ Volcanes
	✚ Inestabilidad de Laderas

Peligros Hidrometeorológicos:	✚ Inundaciones
	✚ Nevadas
	✚ Granizadas
	✚ Viento Zonda

Peligros Antrópicos:	✚ Químicos-Industriales
	✚ Sanitarios

Por otro lado, existen elementos que forman parte de la metodología para la elaboración del Atlas:

- Se determinará un mapa base sobre el cual se trabajarán cada uno de los peligros.
- Se utilizarán fuentes de datos oficiales de instituciones gubernamentales y académicas, esto determinará el nivel de detalle del atlas.
- Se empleará la escala cartográfica conveniente para el detalle de cada fenómeno.
- Al no existir una norma para la simbología, el equipo de trabajo determinará la más adecuada para cada caso y se tratarán de tomar en cuenta algunos símbolos universales que faciliten la interpretación.
- Además de los mapas, el sistema contendrá una base de datos estadística y bibliográfica, sobre aspectos históricos (de eventos previos ocurridos en la provincia) y características de cada uno de los peligros considerados.

Para la estimación del riesgo se necesitan determinar las consecuencias potenciales de un fenómeno destructivo. Esto implica, entre otras cosas, conocer las características físicas de la infraestructura existente, así como las condiciones sociales y económicas de la población dentro de la región de estudio, esta es una etapa que se contempla realizar más adelante, pues los alcances del proyecto son elevados y busca ser parte fundamental dentro de la gestión de riesgo de desastres en la Provincia de Mendoza.



CONSIDERACIONES FINALES

En referencia a todo lo anterior, queda remarcar algunos aspectos importantes a tener en cuenta:

La participación conjunta entre instancias gubernamentales, académicas y civiles, así como el apoyo interinstitucional y la destinación de recursos es fundamental para el óptimo desarrollo del sistema y un mayor detalle y fiabilidad de la información.

En ese sentido, el ICES como instancia científico académica tiene, entre uno de sus objetivos, la aplicación del conocimiento para la creación de herramientas modernas que permitan desarrollar acciones y estrategias, como es el Atlas de peligros y el potencial de la prospectiva para el trabajo futuro es elevado; se plantea tener la posibilidad de visualizar en mapas la zonificación del riesgo aproximada en dependencia del cálculo de la peligrosidad ante el grado de exposición a determinado fenómeno y de la vulnerabilidad social de la población; por otro lado, será posible la elaboración de protocolos de acción en caso de emergencias, considerando escenarios de distintos tipos, ya que se contará con una amplia base de datos informática geo referenciada a la que se podrá acceder de manera ágil y oportuna; para la consecución de ello se dependerá del trabajo comprometido y conjunto.

Más adelante, la participación ciudadana cobrará relevancia, el accionar colectivo a nivel local será esencial para enfrentar una posible situación de desastre. Para lograr ese objetivo será necesario proyectar actividades de divulgación y concientización para tener nociones básicas de acción en los distintos círculos de la esfera social, particularmente en la escala familiar.

ANEXO

Listado de los sismos más importantes en Mendoza, según información del Instituto Nacional de Prevención Sísmica.

22 de mayo de 1782: Primer terremoto importante documentado en la provincia, llamado el "Terremoto de Santa Rita", produjo destrucción y agrietamientos en las construcciones. Alcanzó una intensidad de VIII grados Mercalli.

27 de octubre de 1804: Reportado por el Observatorio de El Salto-Chile. Publicado en los Anales de la Universidad de Chile y reimpresos por la Universidad de Estrasburgo. Intensidad estimada VI grados Mercalli.

20 de marzo de 1861: Se produjo el terremoto porcentualmente más destructivo de toda la historia argentina. Destruyó la ciudad de Mendoza y departamentos vecinos, dejó un saldo de 6.000 muertos sobre una población total de 18.000 habitantes. Su intensidad fue de IX grados Mercalli.

19 de agosto de 1880: Fue a las 01:30, causó gran alarma en la población que salió a la calle, le siguió en intensidad al terremoto de 1861. Afectó a la ciudad de Mendoza, causó el derrumbe de murallas y caída de cornisas. En el fundo del "Melocotón", Tunuyán, se reportó



la muerte de un menor de 14 años a causa del derrumbe de una pared. La intensidad del sismo fue de VI grados Mercalli Modificada.

12 de agosto de 1903: Afectó al Gran Mendoza, en particular Las Heras, donde afectó los pueblos de Uspallata, Punta de Vacas y Puente del Inca. Hubo 3 muertos e importantes daños en las construcciones de la ciudad. La intensidad del sismo fue de VII grados Mercalli.

27 de julio de 1917: Afectó al Dpto. Las Heras y sectores de la ciudad Capital. Produjo la caída de paredes y cornisas, en la ciudad algunas iglesias fueron cerradas debido a la magnitud de los daños. Hubo varias y fuertes réplicas. Su magnitud fue de VII grados Mercalli.

17 de diciembre de 1920: Destruyó Costa de Araujo y localidades aledañas en un radio de 50 Km. Se estimó en 250 los muertos y gran número de heridos. Se formaron grietas en el terreno de las que surgía agua, en algunos lugares se formaron ciénagas. Su intensidad se estimó en VIII grados de la escala Mercalli.

14 de abril de 1927: En la ciudad hubo derrumbes de cornisas y agrietamiento de paredes, en Las Heras causó la destrucción de viviendas y agrietamiento en el terreno. Este terremoto causó daños y víctimas en Chile. La intensidad fue estimada en VIII grados Mercalli.

23 de mayo de 1929: Afectó a la capital provincial y al Dpto. Godoy Cruz. Produjo agrietamiento de paredes y caídas de muros. Causó gran pánico en la población pero no causó víctimas. Fue sentido en todo Cuyo. La intensidad fue de VI grados Mercalli.

30 de mayo de 1929: Destruyó las construcciones de Colonia Las Malvinas y Villa Atuel, Dpto. San Rafael. Causó la muerte de 30 personas y numerosos heridos. El sismo fue sentido hasta San Juan al norte, Buenos Aires al este, Neuquén y Río Negro al sur. Su intensidad fue de VIII grados Mercalli.

23 de noviembre de 1936: Afectó al departamento Rivadavia, donde muchas viviendas resultaron dañadas. Se sintió en San Juan y Mendoza. Se estimó una intensidad de VI grados Mercalli.

5 de julio de 1942: Sismo destructivo en Cañada Seca, Salto de las Rosas y Las Malvinas; San Rafael, Mendoza. Su intensidad fue de VI grados Mercalli.

25 de abril de 1967: Causó derrumbes de las construcciones de adobe y edificios antiguos, se formaron grietas en paredes y rotura de vidrios, especialmente en el Dpto. Las Heras y en la Capital. Se sintió muy fuerte en el valle de Uspallata. Fue de VI grados Mercalli la intensidad del sismo.

26 de enero de 1985: Causó daños considerables en los departamentos del Gran Mendoza. Se reportaron pocas víctimas y heridos. La mayor destrucción se observó en los departamentos de Godoy Cruz y Las Heras. Resultaron más afectadas las construcciones de adobe o de ladrillos antiguas. La intensidad del sismo fue de VIII grados Mercalli.

5 de agosto de 2006: Sismodestructivo en el área del anticlinal de Barrancas. No se reportaron víctimas, pero sí daños materiales en viviendas no sismorresistentes en los Dpto. de Luján, Maipú, Guaymallén, Las Heras, Godoy Cruz, Capital, San Martín, Junín y Rivadavia. La intensidad fue de VI grados Mercalli.



10 de diciembre de 2008: Se reportaron daños en las construcciones en Potrerillos. En la ciudad y departamentos de Mendoza, se sintió más débil. La intensidad fue de VI grados Mercalli.

REFERENCIAS

- [1] “Vivir con el Riesgo. Informe mundial sobre iniciativas para la reducción de desastres” (2004), EIRD-ONU, Ginebra, Suiza.
- [2] “El riesgo de desastres en la planificación del territorio” (2010), PNUD, Buenos Aires, Argentina.
- [3] Celis, Alejandra (2009) “Documento País: Riesgos de desastres en Argentina”, CENTRO, Buenos Aires, Argentina.
- [4] INPRES: <http://www.inpres.gov.ar/> - Consulta día 17/10/2012.
- [5] Lavell, Allan (2003) “La gestión local del riesgo. Nociones y precisiones en torno al concepto y la práctica” CEPREDENAC-PNUD, Guatemala, Guatemala.
- [6] Narváez Lizardo et.al. (2009) “La Gestión del Riesgo de Desastres, un enfoque basado en procesos”, PREDECAN, Lima, Perú.
- [7] “Terminología sobre Reducción del Riesgo de Desastres” (2009), UNISDR, Ginebra, Suiza.
- [8] Lavell, Allan (2002) “Sobre la Gestión del Riesgo: Apuntes hacia una Definición”



Contenido de Metales Traza en Suelos de la Región Pampeana Semiárida

M.d.P. Moralejo y S. G. Acebal
INQUISUR - Departamento de Química, Universidad Nacional del Sur
pilarmor@criba.edu.ar

RESUMEN

El suelo constituye un recurso natural de gran importancia, que cumple funciones en la superficie terrestre como reactor natural y hábitat de organismos, así como soporte físico de infraestructura y fuente de materiales no renovables. Cu, Zn, Mn y Fe son considerados microelementos esenciales para el óptimo crecimiento y desarrollo vegetal.

La estimación de la disponibilidad de estos cationes bajo diversas condiciones ambientales y la asimilación potencial por los organismos son los principales objetivos para la determinación de metales traza asociados a las distintas fracciones de suelo.

En este trabajo se utilizaron agentes complejantes policarboxílicos y aminopolicarboxílicos sobre tres suelos agrícolas del Sudoeste de la Provincia de Buenos Aires con el propósito de determinar la disponibilidad de los micronutrientes. Se utilizó un procedimiento químico de extracción simple en una sola etapa empleando el ácido oxálico (OX), el ácido nitrilotriacético (NTA), el ácido etilendiaminotetraacético (EDTA) y el ácido dietilentriaminopentaacético (DTPA), como extractantes únicos para la determinación de Cu^{2+} , Zn^{2+} , Mn^{2+} y Fe^{3+} .

El estudio se realizó variando la concentración de complejante dentro del rango de pH comprendido entre 5 y 9 usando dos concentraciones de trabajo. Se observó para los complejantes carboxílicos utilizados, un incremento de los niveles de extracción de todos los cationes metálicos a medida que aumentaba la concentración del agente complejante pudiéndose relacionar el nivel de extracción con algunas propiedades fisicoquímicas de los suelos. La secuencia de los agentes complejantes, considerando su capacidad extractiva, fue la siguiente: DTPA > EDTA > NTA > OX. Este ordenamiento se cumple para los cuatro microelementos. Además, existe una correspondencia entre la tendencia de extracción y la cantidad de grupos R-COOH presentes.

Los niveles extraídos fueron compatibles con las concentraciones que estos microelementos presentan en la solución del suelo de la Región Pampeana, no detectándose deficiencias para ninguno de los microelementos esenciales estudiados.

INTRODUCCIÓN

El suelo es un sistema dinámico y muy específico de la biosfera ya que actúa como un amortiguador natural controlando el transporte de elementos químicos y sustancias entre la atmósfera, la hidrosfera y la biomasa. Entre los elementos esenciales necesarios en cantidades pequeñas, en su relación con el crecimiento, desarrollo e incidencia sobre el rendimiento de los cultivos, están presentes los microelementos Cu, Zn, Mn y Fe.



El propósito de este estudio fue determinar la disponibilidad de estos micronutrientes en tres suelos representativos de la Región Pampeana Semiárida, ubicados en el Sudoeste de la Provincia de Buenos Aires, en zonas cercanas a las localidades de Hilario Ascasubi, Bahía Blanca y Coronel Pringles denominados suelos A, B y C, respectivamente. Los mismos presentan propiedades fisicoquímicas diferentes y están ubicados en sitios de importancia económica regional.

Cuando se agrega a un suelo una solución complejante-extractante su función es solubilizar todas las formas químicas del elemento de manera tal que pasen a formar parte de la solución del suelo como especies complejas y así poder determinar su contenido. Se utilizó un esquema de extracción simple o con reactivo único, en una sola etapa, empleando agentes complejantes policarboxílicos y aminopolicarboxílicos como extractantes para la cuantificación de Cu^{2+} , Zn^{2+} , Mn^{2+} y Fe^{3+} presentes en suelos arenosos. Las sustancias complejantes usadas fueron el ácido oxálico (OX), el ácido nitrilotriacético (NTA), el ácido etilendiaminotetraacético (EDTA) y el ácido dietilentriamino-pentaacético (DTPA).

MATERIALES Y MÉTODOS

Suelos

Se tomaron muestras del horizonte superficial (Ap) de tres suelos con diferentes características fisicoquímicas:

- a) Cambortid Típico del Valle Inferior del Río Colorado (Ascasubi), con bajo contenido de materia orgánica, poco arcilloso, con predominio de esmectitas,
- b) Haplustol Éntico, de la zona de Bahía Blanca, con regular cantidad de materia orgánica e ilita como arcilla predominante;
- c) Argiudol Típico, de la región de Coronel Pringles, con buen contenido de materia orgánica y predominio de ilita.

Los suelos fueron secados al aire, molidos con mortero y por último tamizados hasta obtener partículas <2 mm, lo que se denomina suelo entero. En la Tabla I se presentan algunas propiedades distintivas de los mismos.



Suelo	Arena %	Limo %	Arcilla %	pH H ₂ O	pH KCl 1M	M.O. %	C.I.C cmol _c .Kg ⁻¹	Área Superficial Específica m ² .g ⁻¹ (EGME)
A	78,98	6,35	14,67	6,45	5,68	2,56	18,05	49
B	64,77	15,95	19,28	6,80	5,92	2,65	19,55	69
C	52,64	21,10	26,26	6,58	5,28	3,80	21,63	88

Tabla I- Algunas propiedades fisicoquímicas de los suelos

En la Tabla II se muestran los valores totales de los cuatro cationes metálicos estudiados [Cu²⁺, Zn²⁺, Mn²⁺ y Fe³⁺] expresados como mg.Kg⁻¹, unidad equivalente a ppm.

Suelo Fracción <2mm	Cu total (mg.Kg ⁻¹)	Zn total (mg.Kg ⁻¹)	Mn total (mg.Kg ⁻¹)	Fe total (mg.Kg ⁻¹)
A	161,5	386,3	1426	30.086
B	186,1	422,6	2596	33.652
C	153,4	282,3	3481	35.310

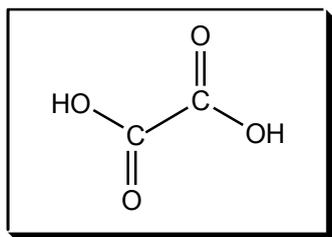
Tabla II- Contenidos elementales totales de la fracción <2mm

Las cantidades elementales totales incluyen los iones que se encuentran dentro de las celdas cristalinas de las diferentes fracciones arena, limo y arcilla constituyendo formas de reserva, es decir, no inmediatamente disponibles para la solución del suelo. Los valores obtenidos se corresponden adecuadamente a lo informado por Kabata Pendías [1] para diferentes suelos del mundo.

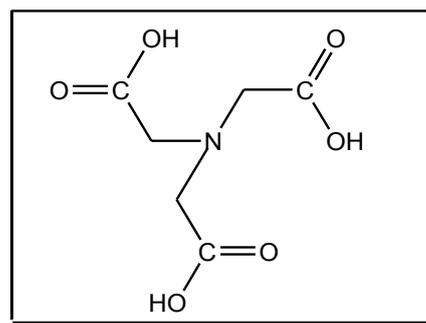
Agentes complejantes carboxílicos

Los ácidos aminopolicarboxílicos (APCs) se caracterizan por presentar uno o más grupos amino terciarios y dos o más grupos carboxílicos.

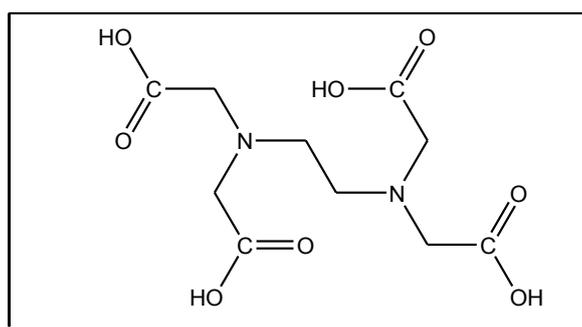
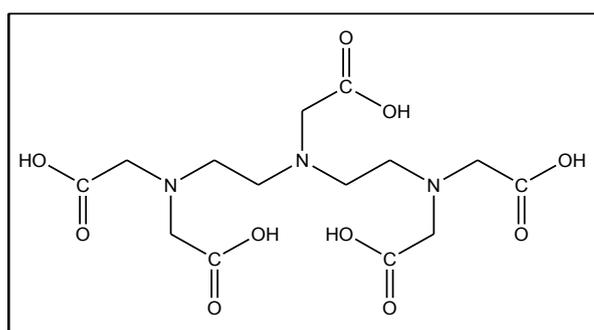
Los compuestos empleados en este estudio se presentan a continuación, con sus abreviaturas, nombres y fórmulas estructurales:



Ácido oxálico (OX)



Ácido nitrilotriacético (NTA)

Ácido etilendiamino-
tetraacético
(EDTA)Ácido dietilentriamino-pentaacético
(DTPA)

Entre ellos, el EDTA ha sido ampliamente utilizado en las extracciones de suelos para la determinación tanto de iones metálicos relacionados con procesos de nutrición vegetal como de metales pesados presentes por fenómenos de contaminación. Los métodos de extracción con EDTA son diversos y cada método varía la concentración, el pH y/o las condiciones de extracción. Algunos autores consideran que extrae la fracción móvil [2] y otros que libera los iones metálicos unidos a la fracción orgánica del suelo [3], [4]. Sin embargo para analizar la posible deficiencia de micronutrientes en el sistema suelo se ha extendido la extracción con DTPA [5].

También, se relacionó la capacidad extractante de estos compuestos policarboxílicos sobre los elementos-traza presentes en el sistema con los valores de sus constantes de protonación (Tabla III).

Agente	Logaritmo de las constantes de Estabilidad - Log K -	de
--------	--	----



Complejante	HL	H ₂ L	H ₃ L	H ₄ L	H ₅ L	H ₆ L	H ₇ L	H ₈ L
OX	3,81	1,37	----	----	----	----	----	----
NTA	9,81	2,57	1,97	----	----	----	----	----
EDTA	10,34	6,24	2,75	2,07	1,5	----	----	----
DTPA	10,49	8,69	4,37	2,87	1,86	1,60	0,7	----

Tabla III- Constantes de protonación de los agentes complejantes carboxílicos

$I = 0,1M (CH_3)_4NCl$; $25^\circ C$, [6].

$K_i = [H_iL] / \{ [H^+] [H_{i-1}L] \}$; i es el número de funciones ácidas

Extracciones parciales de cationes metálicos con reactivos específicos en una sola etapa o con reactivo único

De todas las extracciones simples ampliamente utilizadas en la determinación de especies metálicas en suelos, se optó por realizar la propuesta ya experimentada por Acebal [7].

Se seleccionó este método de extracción porque es un procedimiento que ya había sido exitosamente utilizado para la determinación de microelementos en otros suelos de nuestra región. Este consiste en la extracción de iones metálicos con los agentes complejantes elegidos en dos concentraciones diferentes y a diversos valores de pH (Figura 1).

Las soluciones extractantes se prepararon en un buffer de tris(hidroximetil)-aminometano $(HOCH_2)_3CNH_2$ y ácido maleico $C_4H_4O_8$ (Solución A) e NaOH (Solución B) en el rango de pH comprendido entre 5,0-9,0 con intervalos de 0,5 unidades. Este intervalo de pH fue elegido considerando condiciones normales para la agricultura y también por correspondencia con valores estándar para las aguas naturales.

La solución buffer no interfiere en el proceso de extracción y la composición de la misma se describe en la Tabla IV [7].

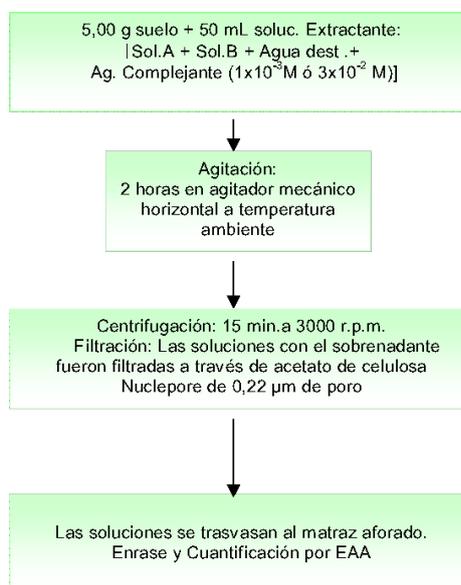


Figura 1.- Esquema del protocolo seguido para la extracción de cationes metálicos contenidos en la solución del suelo con los diferentes agentes complejantes utilizados en dos concentraciones y a diversos valores de pH

Para las extracciones se usaron soluciones de agente complejante a dos concentraciones $1 \times 10^{-3} M$ y $3 \times 10^{-2} M$ para cada valor de pH. Estas concentraciones se eligieron porque son



semejantes a concentraciones mínimas y máximas de especies orgánicas o ligandos inorgánicos presentes habitualmente en los suelos.

Se efectuó entonces, el estudio de la extracción de los iones Cu, Zn, Mn y Fe presentes en los suelos con:

OX 1×10^{-3} M y 3×10^{-2} M,

NTA 1×10^{-3} M y 3×10^{-2} M,

EDTA 1×10^{-3} M y 3×10^{-2} M y

DTPA 1×10^{-3} M y 3×10^{-2} M.

pH	Componentes		
	Solución A (mL)	Solución B (mL)	Agua destilada (mL)
5,0	12,5	1,750	35,750
5,5	12,5	4,125	33,375
6,0	12,5	6,500	31,000
6,5	12,5	9,250	28,250
7,0	12,5	12,000	25,500
7,5	12,5	14,625	22,875
8,0	12,5	17,250	20,250
8,5	12,5	19,425	18,075
9,0	12,5	21,600	15,900

Tabla IV- Composición de las soluciones buffer en el sistema extractante
Solución A: hidroximetil aminometano (TRIS) 0,2 M - ácido maleico 0,2 M
Solución B: NaOH 0,2 M

Luego de disolver la sustancia complejante se ajustó el pH con ácido maleico o NaOH. Las extracciones se efectuaron siguiendo una relación suelo-solución 1:10 (5 g de suelo:50 mL de solución extractante). Todas las determinaciones se realizaron por triplicado. Las suspensiones se agitaron durante dos horas en agitador mecánico horizontal a velocidad controlada y a temperatura ambiente, centrifugándose luego para obtener el líquido sobrenadante. Las soluciones con el sobrenadante fueron filtradas a través de una membrana de acetato de celulosa Nuclepore de 0,22 μ m de tamaño de poro.

El contenido de los iones Cu, Zn, Mn y Fe en los extractos se cuantificó posteriormente por Espectrometría de Absorción Atómica con llama (EAA-llama), usando un equipo G.B.C. 932 B computarizado.

RESULTADOS

Los resultados obtenidos a partir de los procedimientos de extracción simultánea en una sola etapa están expresados sobre base de muestra seca. Las Figuras que se presentan a continuación reúnen la información como valores medios de concentración de catión metálico expresado en miligramos por kilogramo de suelo.

En las Figuras, la notación Suelo A corresponde a Suelo Ascasubi, Suelo B corresponde a Suelo Bahía Blanca y Suelo C corresponde a Suelo Coronel Pringles. Las concentraciones del agente extractante fueron expresadas en el texto en forma exponencial.

La Figura 2 presenta los valores obtenidos para la extracción de los iones Cu, Zn, Mn y Fe con OX. La Figura 3 presenta los valores obtenidos para la extracción con NTA. La Figura 4



presenta los valores correspondientes a la extracción de los iones con EDTA. Y la Figura 5 presenta los valores obtenidos para la extracción de los iones Cu, Zn, Mn y Fe con DTPA.

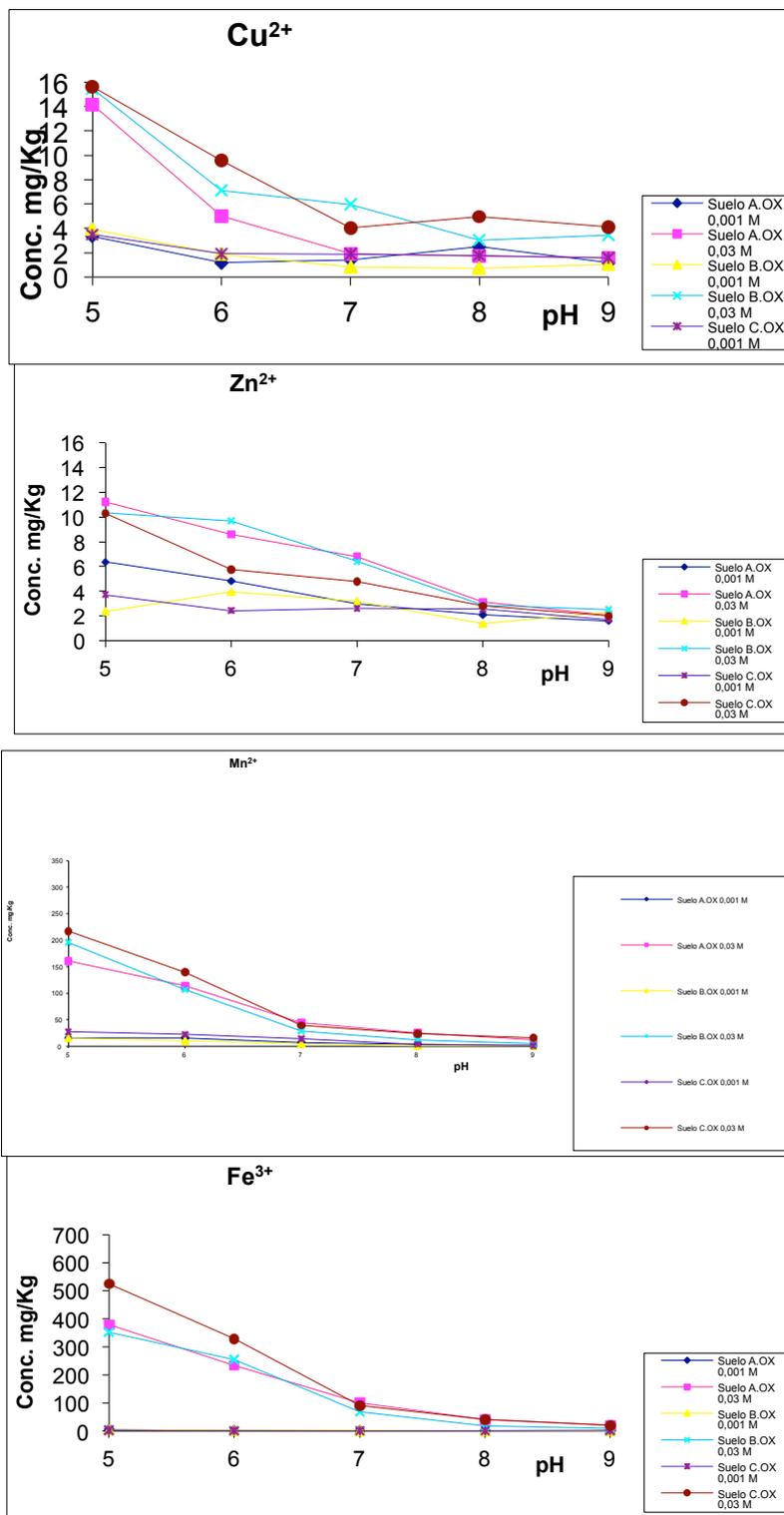


Figura 2.- Variación de las concentraciones de cationes metálicos extraídos con OX versus pH

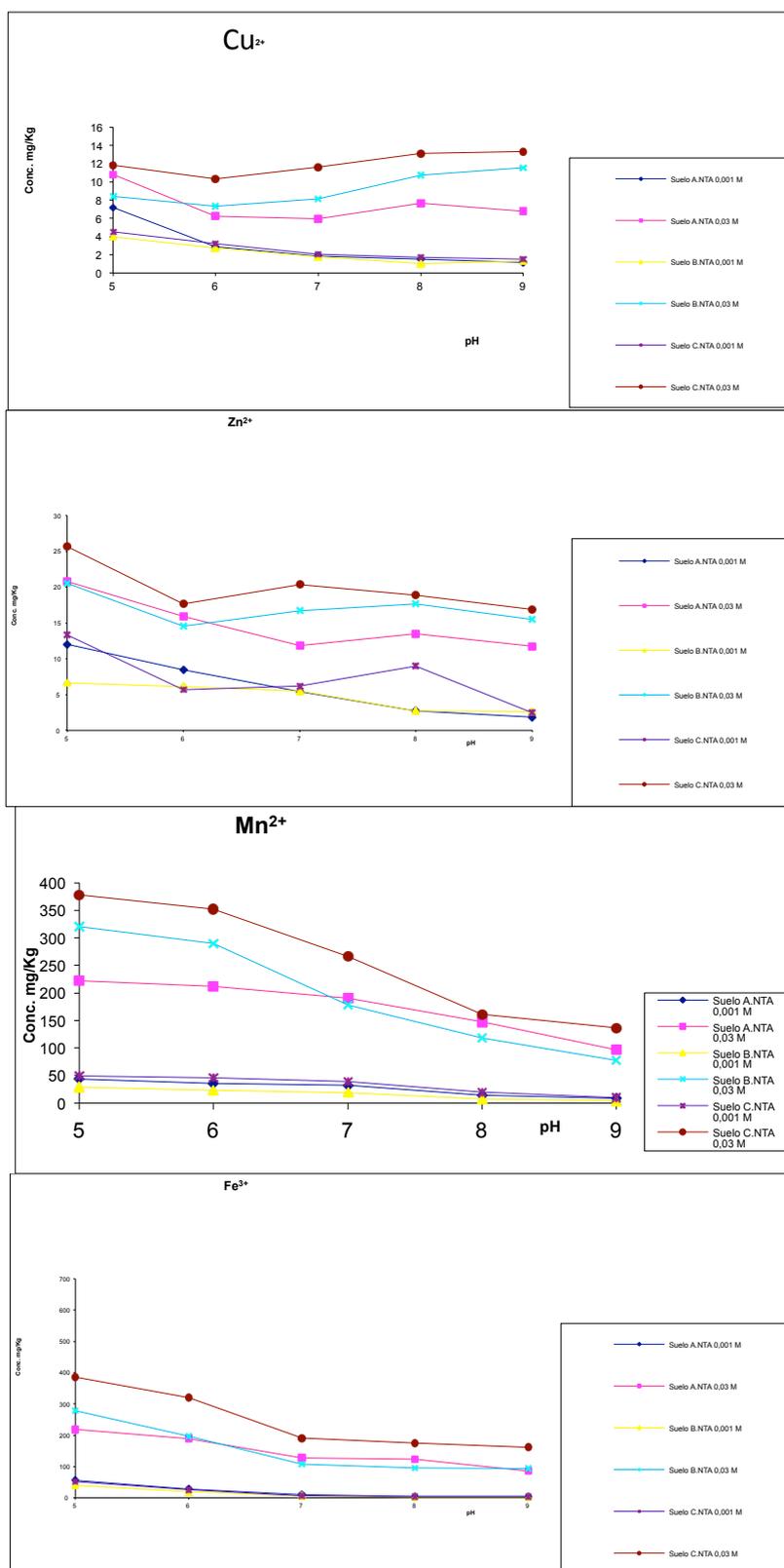


Figura 3.- Variación de las concentraciones de cationes metálicos extraídos con NTA versus pH

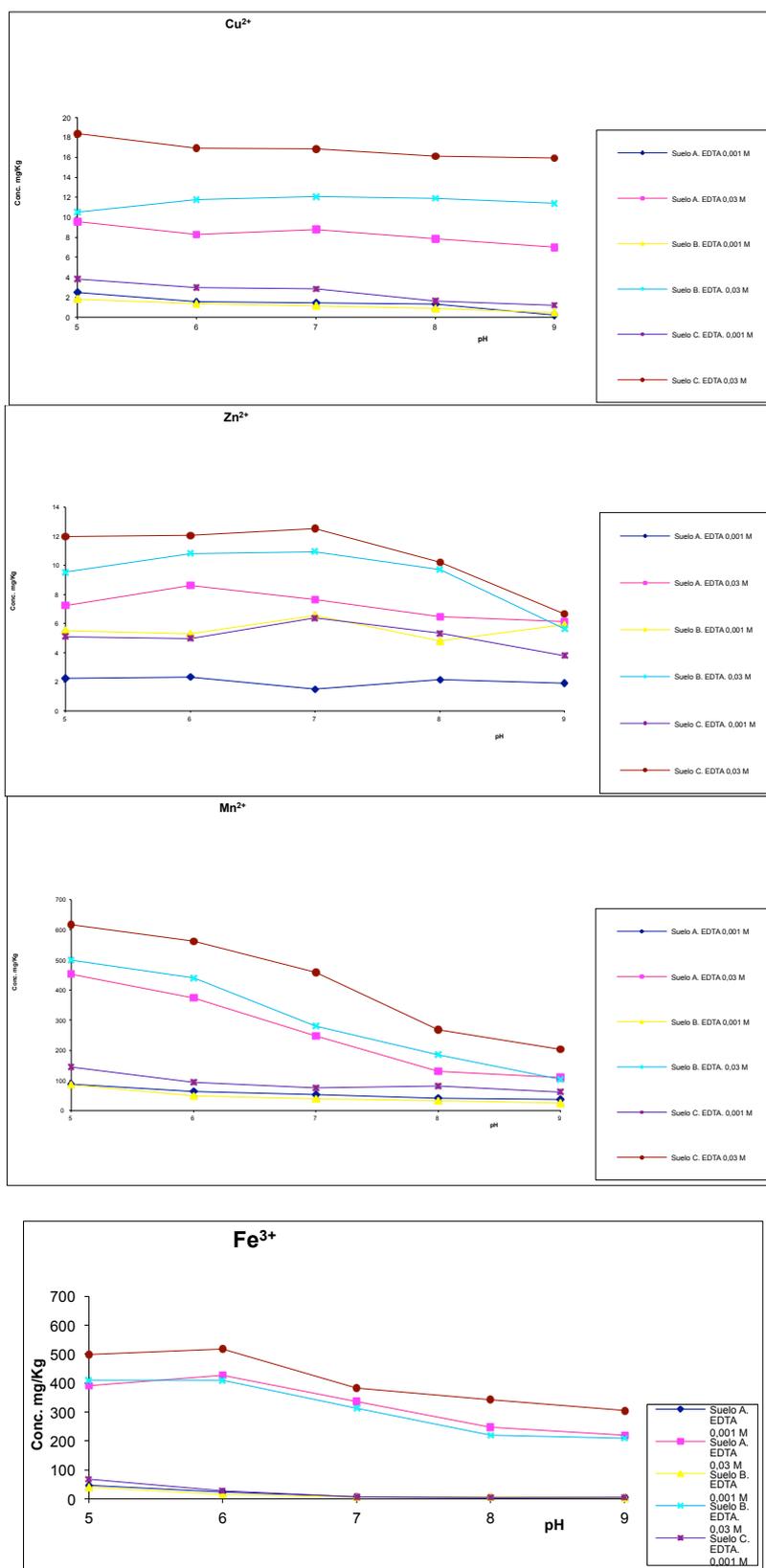


Figura 4.- Variación de las concentraciones de cationes metálicos extraídos con EDTA versus pH

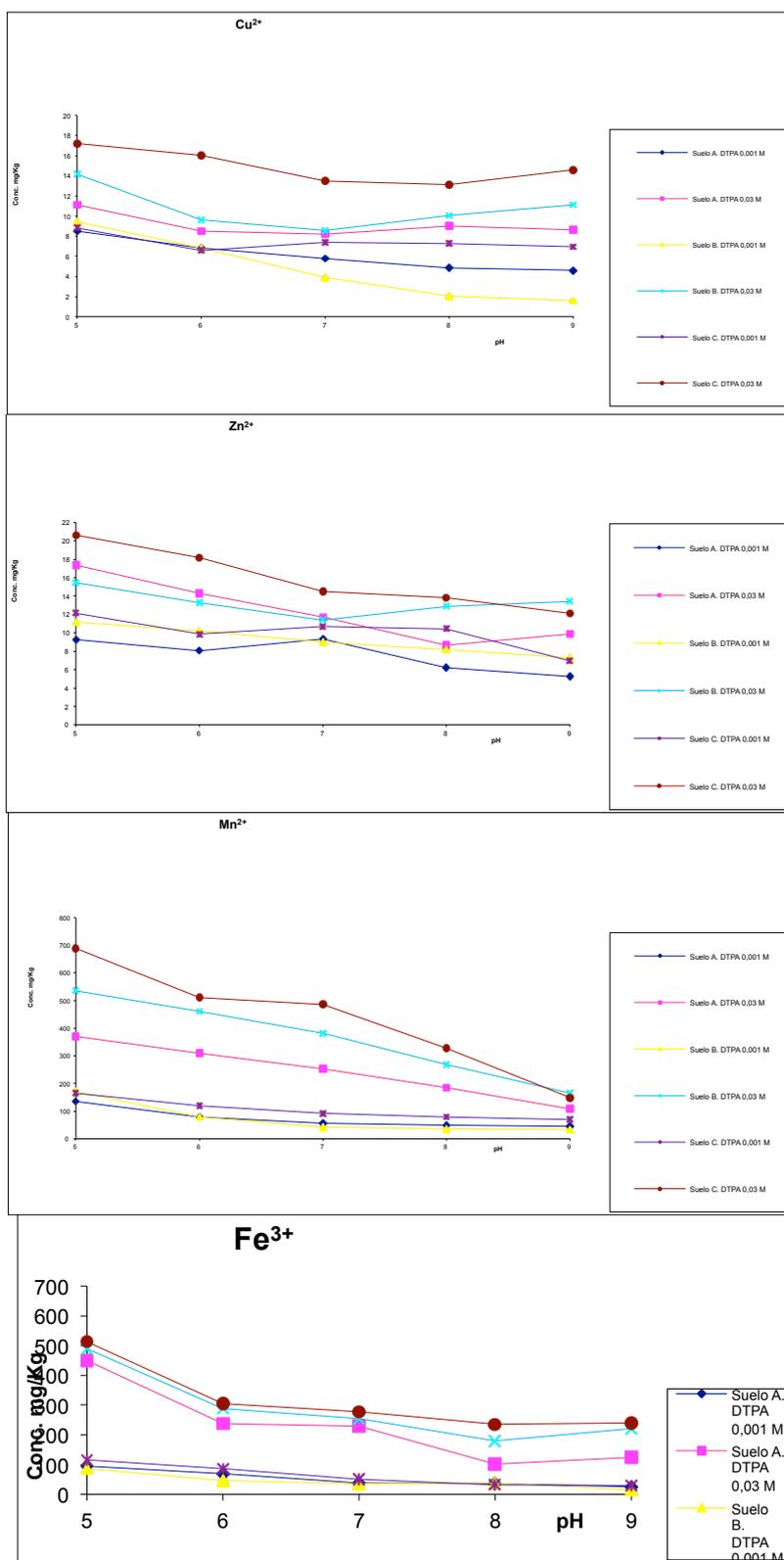


Figura 5.- Variación de las concentraciones de cationes metálicos extraídos con DTPA versus pH

DISCUSIÓN

Dada la importancia nutricional de los microelementos, el conocimiento de los tenores disponibles en suelos, es de gran importancia ya que una disminución de estos elementos



causa, a menudo, daños internos en las plantas, ocasionando cambios en las hojas, flores y frutos produciendo deformidades y alteraciones en los colores de los mismos, de tal modo que frecuentemente afectan su calidad. Por otro lado, un exceso de estos iones en la solución del suelo tendría un efecto tóxico en los cultivos.

Considerando que el análisis de la solución del suelo es un modo adecuado de medir los niveles de estos elementos traza ya que determinadas condiciones fisicoquímicas pueden afectar su solubilidad y su movilidad [8] y, teniendo en cuenta que los agentes complejantes carboxílicos presentan una reactividad única debido a la interacción existente entre los grupos carbonilo ($-C=O$) y oxhidrilo ($-OH$) presentes en el grupo carboxilo ($-COOH$), se efectuó este análisis.

El OX tiene dos grupos $-COOH$ y se disocia liberando dos H^+ . El anión oxalato, $^{2-}OOC-COO$, provee dos grupos de coordinación para el enlace con metales y la formación de complejos está favorecida a causa del aumento de entropía que resulta del desplazamiento de moléculas de H_2O de la esfera de coordinación del metal.

A partir de los resultados obtenidos, (Figura 2) se destaca una mayor movilización de todos los cationes metálicos a pH ácido. En general, los ácidos dicarboxílicos, el OX en este caso, dan una reacción bastante ácida, puesto que ambos grupos $-COOH$ se influyen entre sí. Se disocia en dos etapas, de manera tal que la acidez de la primera disociación es notablemente mayor que la de un ácido monocarboxílico, siendo la segunda disociación sólo un poco más pequeña (Tabla III). A pH 5 ya está totalmente disociado [7] y la especie $C_2O_4^{2-}$ está disponible para la movilización de los iones y la formación de complejos ML. El exceso de complejante favorece además, la formación de especies ML_2 y ML_3 solubles, donde $M = Cu^{2+}$, Zn^{2+} , Mn^{2+} y Fe^{3+} . A partir de pH 7 la solubilidad de las formas catiónicas de los iones metálicos disminuye notoriamente lo que favorece el perfil observado en la Figura 2. De los cationes estudiados, solamente el Cu^{2+} y el Zn^{2+} muestran valores de extracción en zonas de pH alcalino. Esto parece estar más relacionado a la presencia de complejos solubles entre los iones metálicos y la materia orgánica que al efecto complejante del extractante carboxílico.

El NTA es un ligando tetradentado y muy efectivo agente complejante. Se considera que en los carboxílicos, son los átomos de O los que sirven como sitios de unión entre los iones metálicos y los grupos $R-COOH$. La naturaleza del enlace es mixta: iónica y covalente. Los niveles de extracción de iones Cu, Zn, Mn y Fe aumentan a medida que aumenta la concentración del agente complejante NTA (Figura 3). La observación de los resultados permite expresar que el agente carboxílico NTA es un buen agente complejante de Cu^{2+} y Zn^{2+} . Moviliza a los cationes fundamentalmente a pH ácido. A pH 5 el NTA está en su forma protonada HL^{2-} , mientras que a partir de pH 8 comienza a cobrar importancia la forma L^{3-} totalmente deprotonada, ambas en un porcentaje del 100% disponibles para la formación de los complejos metálicos. El mayor nivel de extracción a pHs alcalinos observado para los iones Cu^{2+} y Zn^{2+} con NTA parece estar relacionado con un efecto acoplado de formación de complejos M-NTA y complejos M-materia orgánica solubles.



El EDTA es un ácido aminopolicarboxílico con cuatro H^+ ácidos. Se trata de un ácido débil, que libera más fácilmente los dos primeros H^+ que los otros dos restantes. Además, cada átomo de N tiene un par de electrones solitarios; así pues la molécula presenta seis lugares posibles para la unión con un ión metálico y puede considerarse como un ligando hexadentado. Se combina con los iones metálicos en la relación 1:1 cualquiera sea la carga del catión y los complejos formados tienen suficiente estabilidad. Esta elevada estabilidad se debe a los diferentes grupos complejantes que hay en la molécula que originan una estructura que rodea y aísla al catión. En la Figura 4 se presentan los valores de extracción para las tres muestras de suelo con las dos concentraciones de agente extractante EDTA 10^{-3} M y 3×10^{-2} M, en función del pH. Se observan niveles de extracción para los cuatro cationes entre 5-9 unidades.

En el rango de pH estudiado las especies de EDTA predominantes son: H_2L^{2-} (con un máximo a pH 5) y HL^{3-} (con un máximo a pH 9). Alrededor de pH 7 ambas formas protonadas están presentes en solución en un 50% siendo éste el mínimo observado.

Se presenta para los cuatro cationes, un nivel de extracción considerable a pHs alcalinos. Esto parece estar más relacionado a la formación de complejos orgánicos solubles que a la presencia de complejos M-EDTA, porque a pHs básicos la concentración de los iones metálicos libres en solución es muy baja, con excepción del Mn^{2+} que permanece en solución en todo el rango de pH analizado. El EDTA actúa extrayendo los iones metálicos de los sitios de intercambio, tanto orgánicos como inorgánicos de los suelos, sin atacar la estructura cristalina de los minerales arcillosos. Kennedy *et al.*, [9] informa que en el ámbito de pH 5 a 8 se extrae la fracción de cationes metálicos que se encuentran como iones intercambiables, retenidos mediante adsorción no específica y también los unidos a la fracción orgánica del suelo.

El DTPA es un ácido aminopolicarboxílico con cinco H^+ . En la Figura 5 se presentan los valores de extracción para las tres muestras de suelo con las dos concentraciones de agente extractante DTPA 10^{-3} M y 3×10^{-2} M, en función de la variación de pH.

Estos resultados experimentales nos indican que el agente complejante DTPA, en sus dos concentraciones, es un extractante efectivo para realizar una valoración simultánea de los cuatro micronutrientes en los suelos estudiados según el procedimiento de extracción simple. En el rango de pH analizado la forma protonada H_2L^{3-} es la predominante en la solución, disponible en un 100% con un máximo a pH 7.

Considerando la solubilidad de las especies iónicas en suelos y la presencia de la especie protonada del ligando, se explica la mayor extracción observada a pHs ácidos. A pHs básicos (7-9) los valores de extracción del DTPA refuerzan la idea de presencia en zonas alcalinas, de formas solubles de los iones, asociadas preferentemente a la materia orgánica. Los valores de las constantes de estabilidad del DTPA superan los correspondientes valores de los demás complejantes carboxílicos analizados. De allí el mayor nivel de extracción que presenta el DTPA para los cuatro cationes metálicos (Tabla III).



CONCLUSIONES

Se observó para los cuatro complejantes carboxílicos utilizados, un incremento de los niveles de extracción de todos los cationes metálicos a medida que aumentaba la concentración del agente complejante siempre con predominio de nivel de extracción en el suelo C, luego el suelo B y por último el suelo A, lo que indicaría una correlación de las cantidades solubilizadas con las propiedades fisicoquímicas que presentan los suelos.

La secuencia de los agentes complejantes, considerando su capacidad extractiva, es la siguiente: DTPA > EDTA > NTA > OX. Este ordenamiento se cumple para los cuatro microelementos analizados. Además, hay una correspondencia entre la tendencia de extracción y la cantidad de grupos R-COOH en los compuestos policarboxílicos usados.

Los cuatro micronutrientes mostraron diferenciada sensibilidad con respecto al pH de extracción.

Los niveles extraídos fueron compatibles con las concentraciones que estos microelementos presentan en la solución del suelo no detectándose deficiencias para ninguno de los microelementos esenciales.

REFERENCIAS

- [1] A. Kabata Pendías, H. Pendías, 2001. Trace Elements in Soils and Plants. 3rd Ed., CRC Press LCL. Boca Raton. Florida, USA.
- [2] J. Hlavay, T. Prohaska, M. Weisz, W. W. Wenzel and G. J. Stinger, 2004. Determination of Trace Elements Bound to Soils and Sediment Fractions, Pure Appl. Chem., 76, 415-442.
- [3] A. Sahuquillo, A. Rigol and G. Rauret, 2003. Overview of the Use of Leaching/extraction Tests for Risk Assessment of Trace Metals in Contaminated Soils and Sediments, Trends Anal. Chem., 22(3), 152-159.
- [4] L. Horckmans, R. Swennen and J. Deckers, 2007. Retention and Release of Zinc and Cd in Spodic Horizons as Determined by pH Analysis and Single Extractions, The Sci. Total Environ., 376, 86-99.
- [5] J. G. White, R.J. Zasoski, 1999. Mapping Soil Micronutrients, Field Crops Research, 60, 11-26.
- [6] A. Martell, R. Smith, 1982. Critical Stability Constants, Plenum Press, New York.
- [7] S. G. Acebal, 1989. Comportamiento de algunos agentes complejantes carboxílicos como extractantes de elementos menores en suelos, Tesis Doctoral. Universidad Nacional del Sur. Bahía Blanca, Argentina.
- [8] R. Pardo, M. Vega, L. Debán, C. Cazorro and C. Carretero, 2008. Modelling of chemical fractionation patterns of metals in soils by two-way and three-way principal component analysis, Anal. Chim. Acta, 606, 26-36.
- [9] V. H. Kennedy, A. L. Sanchez., D. H. Oughton and A. P. Rowland, 1997. Use of Single and Sequential Chemical Extractants to Assess Radionuclide and Heavy Metal Availability from Soils for Root Uptake, Analyst, 122, 89R-100R.



Estudio Preliminar en la biodegradación aeróbica de suelos contaminados con hidrocarburos en vistas a la optimización del proceso a campo

Navarro M.¹, Petricio S.¹, Alessandroni G.¹, Vázquez J.¹, Lavalle L.^{1,2}, Giaveno A.^{1,2}

¹Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional del Comahue. Buenos Aires 1400, Neuquén, ²IDEPA (CONICET- UNCo), Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional del Comahue. Buenos Aires 1400, (8300) Neuquén, Argentina
martinezequielnavarro@gmail.com , laura.lavalle@fain.uncoma.edu.ar

RESUMEN

La contaminación del suelo por hidrocarburos y compuestos derivados del petróleo es una problemática ambiental relevante y de especial interés para las zonas circundantes a las cuencas hidrocarburíferas de la Patagonia Argentina. Sin embargo, pocas industrias se dedican a la biorremediación de estos suelos.

El objetivo del trabajo fue evaluar diferentes tratamientos a fin de optimizar la biodegradación de suelos contaminados con hidrocarburos a escala de laboratorio.

Se dispusieron muestras de tierra contaminada con hidrocarburos (provenientes de una biopila de biorremediación situada en el Parque Industrial de Plaza Huincol, Neuquén), en recipientes plásticos y se ensayaron 5 tratamientos por triplicado: a) sistema abiótico, b) sistema con aireación forzada, c) sistema anegado y tapado con cobertura plástica, d) sistema inoculado (bioaumentado) y e) sistema estándar (reproduciendo las prácticas habituales en las operaciones a campo). Durante 165 días de ensayo, se efectuaron mediciones de humedad (método gravimétrico), hidrocarburos totales (extracción con éter de petróleo), bacterias totales (recuentos en placa) y bacterias hidrocarburolíticas (técnica del número más probable). Además, se realizó una caracterización preliminar de cepas bacterianas.

Los resultados obtenidos reflejaron la ineffectividad del sistema tapado y anegado en la biorremediación en contraposición con la buena evolución de los sistemas estándar, inoculado y aireado, que alcanzaron una degradación de hidrocarburos aproximada del 70% en un período de tiempo significativamente menor al requerido usualmente en ensayos a campo. Se constató un marcado incremento en el número de bacterias hidrocarburolíticas en función de la disminución de los contaminantes.

Se prevé continuar con la realización de ensayos a mayor escala a fin de evaluar el efecto de las condiciones climáticas, tipo de agua de riego, diseño de tubos de aireación, laboreo mecánico de biopilas, etc. Adicionalmente se completará la caracterización molecular de las cepas aisladas y se probarán nuevos consorcios que contribuyan a optimizar el proceso.



INTRODUCCIÓN

En nuestro país, la contaminación accidental más frecuente de suelos procede de hidrocarburos provenientes de instalaciones fijas o son producidos por siniestros en rutas con derrame de derivados del petróleo. La presencia de contaminantes en el suelo supone la existencia de potenciales efectos nocivos para el hombre, la fauna en general y la vegetación.

Para desarrollar el tratamiento y recuperación del terreno contaminado se pueden utilizar tres tipos diferentes de procedimientos: físico-químicos, térmicos o biológicos. Algunos ejemplos de tecnologías utilizadas han sido la incineración a alta temperatura y diversas formas de descomposición química, tales como la oxidación ultravioleta. Estas tecnologías pueden ser eficaces en reducir la concentración de una variedad de contaminantes, pero tienen inconvenientes, debido a su complejidad técnica, el costo para su aplicación a problemas de pequeña escala, y en licencias [1].

Dentro de los tratamientos biológicos, la biorremediación, es el conjunto de técnicas que utilizan una población microbiana degradadora activa [2], para remover, degradar o transformar compuestos orgánicos tóxicos en productos metabólicos menos tóxicos o inocuos, es decir, transformar los contaminantes biodisponibles en un entorno optimizado [3]. Es una tecnología simple de mantener, aplicable a grandes volúmenes, con un bajo costo e impacto en el medio ambiente y que puede lograr la eliminación del contaminante.

El fundamento biológico del proceso es la utilización de las sustancias orgánicas por parte de los microorganismos como fuente de energía y de carbono. Para que esto ocurra, se requiere el cumplimiento de determinados factores ambientales relacionados a los aceptores electrónicos (oxígeno, sulfato, nitrato), que oxiden a los carbonos procedentes de los hidrocarburos así como también, de condiciones adecuadas de pH, nutrientes inorgánicos (nitrógeno y fósforo), temperatura, humedad, textura y estructura del suelo, y concentración de los contaminantes.

La biorremediación puede emplear organismos propios del sitio (autóctonos) o ajenos a este (exógenos). Al igual que otras tecnologías de remediación, puede realizarse en el mismo sitio sin necesidad de excavar el material contaminado (in situ), o bien excavándolo para tratarlo en el sitio (on site) o fuera de él (ex situ).

Si la atenuación natural se produce muy lentamente, se puede manipular el medio con vistas a aumentar la velocidad de degradación. Los enfoques más ampliamente adoptados son los de bajo costo, ex situ donde la bioestimulación y / o bioaumentación puedan degradar químicos peligrosos hasta concentraciones donde el riesgo se considera permisible [4].

La bioestimulación implica la adición de oxígeno y/o nutrientes (como nitrógeno y fósforo) al suelo contaminado, con el fin de estimular la actividad de los microorganismos autóctonos y con ello la biodegradación de los contaminantes. Cuando la atenuación natural y la bioestimulación no han mostrado resultados satisfactorios, se puede recurrir a la bioaumentación, la cual consiste en mejorar las capacidades degradativas de un sitio contaminado mediante la inoculación de microorganismos que tiene la facultad de degradar



el contaminante en cuestión. Estos microorganismos pueden ser autóctonos o exógenos. En caso de llevar a cabo esta estrategia con el uso de microorganismos exógenos se debe tener en cuenta los efectos que puede tener la introducción de una nueva especie en el ecosistema (en la provincia de Neuquén no está permitido el uso de cepas no autóctonas).

Si bien la mayoría de las sustancias orgánicas son biodegradables, existen compuestos que resisten la degradación (recalcitrantes) o que se degradan muy lentamente (persistentes). La biodegradabilidad de un compuesto depende en gran medida de: su estructura molecular (cuanto más compleja es la estructura molecular, más difícil y más lenta será la degradación), su volatilidad (los componentes volátiles tienden a evaporarse de la biopila en lugar de ser biodegradados), su concentración y toxicidad (altas concentraciones de hidrocarburos o de metales pesados en el suelo a tratar pueden resultar tóxicas o inhibitorias del crecimiento y reproducción de las bacterias responsables de la degradación).

El landfarming y las biopilas son técnicas de biorremediación, lo cual implica que utilizan microorganismos capaces de degradar hidrocarburos para sanear el suelo contaminado. Son tecnologías que están siendo muy estudiadas, debido a las ventajas que ofrecen en lo económico y en relación a su bajo impacto en el ambiente. Tanto en landfarming como en biopilas se estimula el crecimiento de los microorganismos del suelo encargados de la remediación.

Las biopilas son procesos que consisten en formar cúmulos de suelo contaminado y estimular la actividad microbiana, aireando y/o adicionando nutrientes y humedad. El incremento de la actividad microbiana es proporcional a la reducción de las concentraciones de HTP (hidrocarburos totales de petróleo).

La tecnología de biopilas es similar al landfarming ya que ambas se llevan a cabo fuera del sitio, utilizan el oxígeno contenido en el aire y estimulan el crecimiento de bacterias aerobias, las cuales degradan los constituyentes del petróleo adsorbido por el suelo. Una diferencia importante con el landfarming reside en la forma de aireación del suelo. Mientras en landfarming la aireación se realiza mediante el arado, en biopilas, se puede airear mediante tuberías ranuradas conectadas a un inyector o extractor de aire, o sin este dispositivo, permitiendo la entrada y salida de aire naturalmente a través de los mencionados tubos. Una vez formadas o construidas las pilas, se les puede colocar una cubierta de plástico para evitar la volatilización de HTP y pérdida de calor en el proceso. Siempre es recomendable controlar factores como la temperatura, la humedad, el pH y la concentración de nutrientes, para poder lograr una biorremediación efectiva dentro de la biopila.

Una de las dificultades que presenta el desarrollo de estrategias de este tipo reside en lograr resultados en campo tan buenos o mejores que los obtenidos en laboratorio. Es difícil predecir el tiempo requerido para un proceso, pero suelen demandar meses o incluso años para lograrlo. Por ello es muy importante el estudio de las posibles modificaciones en el proceso para reducir el tiempo de tratamiento como a su vez los costos asociados al mismo. En este sentido, el objetivo del trabajo fue evaluar diferentes tratamientos sobre muestras



de suelo contaminadas con hidrocarburos, a fin de optimizar la biodegradación a escala de laboratorio.

MATERIALES Y MÉTODOS

Preparación de los microcosmos

Las muestras de suelo contaminado provenientes de EET S.A. se homogeneizaron en el laboratorio y se dividieron en porciones de 2,5 kilogramos, las cuales se colocaron en recipientes plásticos de dimensiones de 45cm x 10cm x 10cm. Se ensayaron 5 tipos distintos de sistemas por triplicado: Estándar (replicando las características de las biopilas a campo), Tapado (cubierto con una bolsa plástica opaca), con Aireación Forzada (idéntico al anterior y con una cánula perforada conectada a una bomba de aireación), Inoculado (idéntico al estándar, pero irrigado con una solución de microorganismos cultivados en el laboratorio) y Abiótico (similar al estándar pero irrigado con una solución de hipoclorito de sodio, o sea lavandina al 5%). (Figuras 1-5).



Figura 1: Sistemas analizados. De izquierda a derecha y de arriba hacia abajo: Sistemas Estándar, Sistemas Tapados, Sistemas con Aireación Forzada, Sistemas Inoculados y Sistemas Abióticos

A todos los sistemas se le incorporó durante el segundo muestreo una solución de nutrientes compuesta por urea (aporte de nitrógeno) y fosfato (fuente de fósforo), manteniendo la proporción 100:10:1 para Carbono (aportado por el hidrocarburo), Nitrógeno y Fósforo. Asimismo, a todos los sistemas se les incorporó líquido (agua, solución de lavandina o solución de inóculo, según el caso) de manera de mantener una humedad inicial de alrededor del 20 %.



El inóculo se preparó a partir de un cultivo de bacterias pertenecientes a una biopila en funcionamiento de la empresa EET S.A.; dicho cultivo se hizo crecer en el laboratorio a través de repiques en medios de enriquecimiento empleando kerosene como fuente de carbono y fue inoculado en los sistemas al momento de armado de los mismos, logrando una concentración bacteriana de $1,3 \times 10^8$ UFC/gr de suelo (Unidades formadoras de colonias por gramo de suelo).

Los ensayos se llevaron a cabo durante 164 días, manteniendo los microcosmos en las condiciones medioambientales propias del laboratorio (temperatura, presión y humedad), expuestos al sol y protegidos de las corrientes de aire.

Los muestreos se realizaron con más frecuencia al comienzo del ensayo (cada 10 días), para luego realizarse de manera más espaciadas hacia el final del mismo. Durante cada muestreo, se procedió a la mezcla y homogenización de las muestras, extrayéndose 15 gramos de las mismas en frascos estériles para su análisis posterior. Asimismo durante los muestreos, se verificó la humedad de cada sistema y se procedió al riego de los mismos con agua corriente.

Medición de hidrocarburos totales y humedad

Para la medición de los hidrocarburos totales del petróleo (HTP), se utilizó un método gravimétrico consistente en la extracción por triplicado de los hidrocarburos con éter de petróleo, a partir de muestras obtenidas de los sistemas antes mencionados. Para ello, se pesaron 3 gramos de dichas muestras en un tubo falcon y se le añadieron 15 ml de éter de petróleo. Luego, se procedió a centrifugar a 3500 rpm y se extrajo el sobrenadante, el cual se dejó evaporar a temperatura ambiente en erlenmeyer estériles y previamente tarados. Por último, se pesó el erlenmeyer seco y con ello se constató la cantidad de HTP extraídos en la muestra.

Por otro lado, para el ensayo correspondiente a la medición de la humedad, se tomaron aproximadamente 3 gramos de muestra de cada sistema y se los dejó secar en placas de petri a 80 °C durante 48 horas. A partir de la diferencia entre pesos iniciales y finales, se calculó el porcentaje de humedad de la muestra.

Recuento de microorganismos totales y de bacterias hidrocarburohíticas totales

Para evaluar la cantidad de bacterias presentes en las muestras, se utilizó la técnica de recuento en placa con medio Luria-Bertani. A partir de diluciones decimales de las muestras de los sistemas, se prepararon las placas por vertido y por duplicado de cada sistema y se las incubó a temperatura de 28 °C durante 7 a 10 días. Luego, se registraron los valores de UFC/g que se encontraran en el rango de 30 a 300 en cada placa.

Para el recuento de bacterias hidrocarburohíticas, se utilizó la técnica del número más probable (NMP), utilizando medio de Bushnell-Haas, kerosene previamente filtrado y estéril como fuente de carbono y resazurina como indicador [5]. Para ello, se sembraron distintas diluciones en serie de la muestra proveniente de cada sistema, en tubos de ensayo y se los incubó durante un período de 21 días. Una vez transcurrido dicho período, aquellos tubos



cuya coloración viró del celeste original al rosado (Figura 2), fueron reportados como positivos e introducidos en el Software EPA MPN Calculator, obteniéndose así el número más probable de microorganismos hidrocarburolíticos en la muestra analizada.

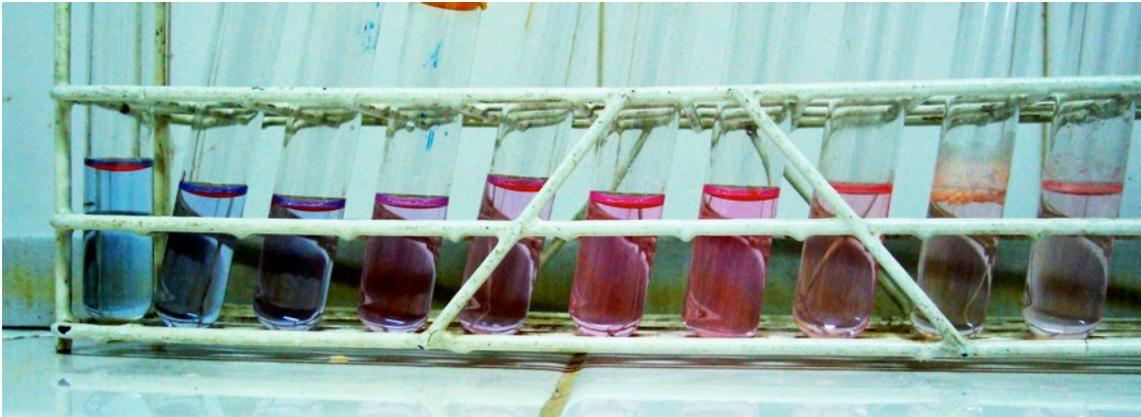


Figura 2: Tubos de ensayo de la técnica NMP. De izquierda a derecha se observa un cambio de coloración, desde el color azul (tubos negativos) hacia el rosado y el transparente (tubos positivos).

Aislamiento de microorganismos totales

A partir de placas utilizadas para realizar los recuentos en placa con medio Luria-Bertani y de los tubos positivos del ensayo de NMP, se realizaron aislamientos de cepas para los distintos sistemas en los estadios inicial y final de los ensayos. Para preservar estos aislamientos a fin de realizar estudios posteriores de caracterización de cepas, se guardaron suspensiones de los mismos en glicerol al 10%, en freezer, formando parte de la colección de cepas del laboratorio.

RESULTADOS

En el ensayo a campo, las biopilas parten de una concentración inicial de 4 a 5 % de hidrocarburos, que es degradada a un valor de 1% (o menor) en un plazo de 9 a 12 meses. La concentración inicial de HCT en los sistemas ensayados fue de 4,8% observándose un leve incremento de su concentración a los 10 días y una disminución gradual durante el resto del ensayo. Podemos observar que en 4 de los 5 sistemas estudiados (Inoculado, Aireación forzada, Estándar y Estéril) se produjo una significativa disminución del contenido total de hidrocarburos, de alrededor del 65% del valor esperado (Figura 3). Asimismo, podemos establecer que el sistema tapado tuvo la menor evolución de todos, puesto que su porcentaje de degradación con respecto al valor esperado fue del 23, 8%.

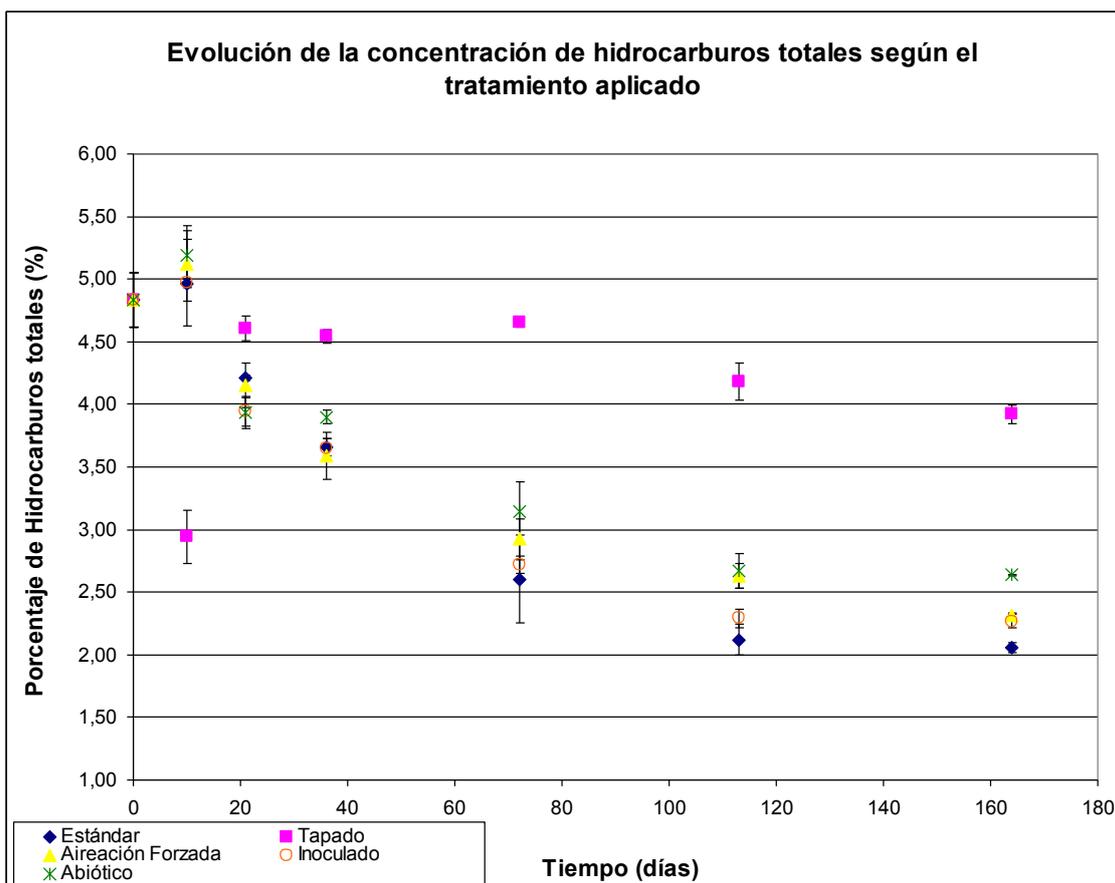


Figura 3. Evolución del contenido de hidrocarburos totales en los diferentes tratamientos planteado. En el gráfico se encuentran representados los valores promedios y sus barras de desvío estándar.

En cuanto a los recuentos de microorganismos totales (Figura 4) e hidrocarburolíticos (Figura 5), se puede observar que las concentraciones aumentan notoriamente al cabo de transcurridos los primeros diez días y llegan a su máximo alrededor del día 36. Este comportamiento se debe a una mayor biodisponibilidad de nutrientes y a la mejor aclimatación de los microorganismos a las condiciones ambientales. También, es destacable mencionar la muy baja concentración de bacterias presentes en el sistema abiótico (debido a la incorporación de agua lavandina), no obstante, se observó durante todo el proceso la presencia de hongos filamentosos difícil de eliminar.

Se puede establecer una correspondencia entre la concentración de microorganismos degradadores de hidrocarburos y la cantidad de hidrocarburo degradado.

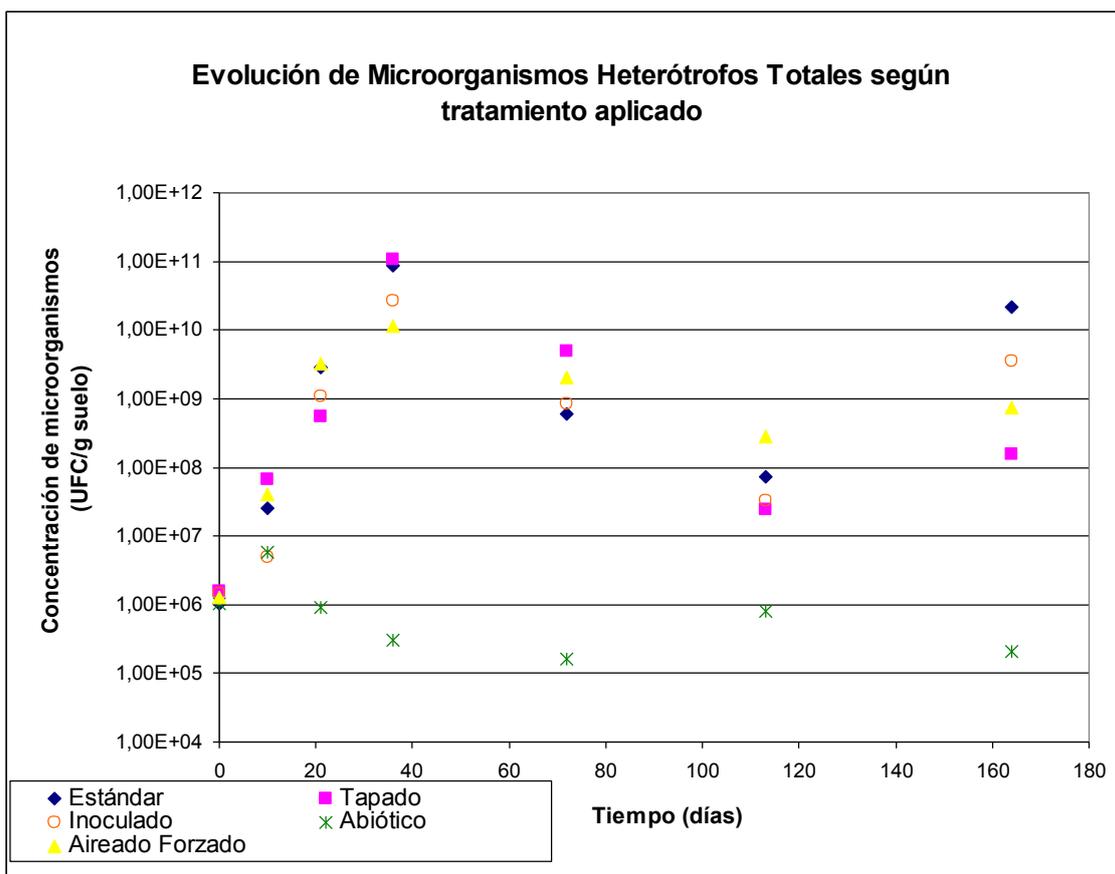


Figura 4. Evolución de las concentraciones de microorganismos en los diferentes sistemas. En el gráfico se encuentran representados los valores promedios de cada sistema.

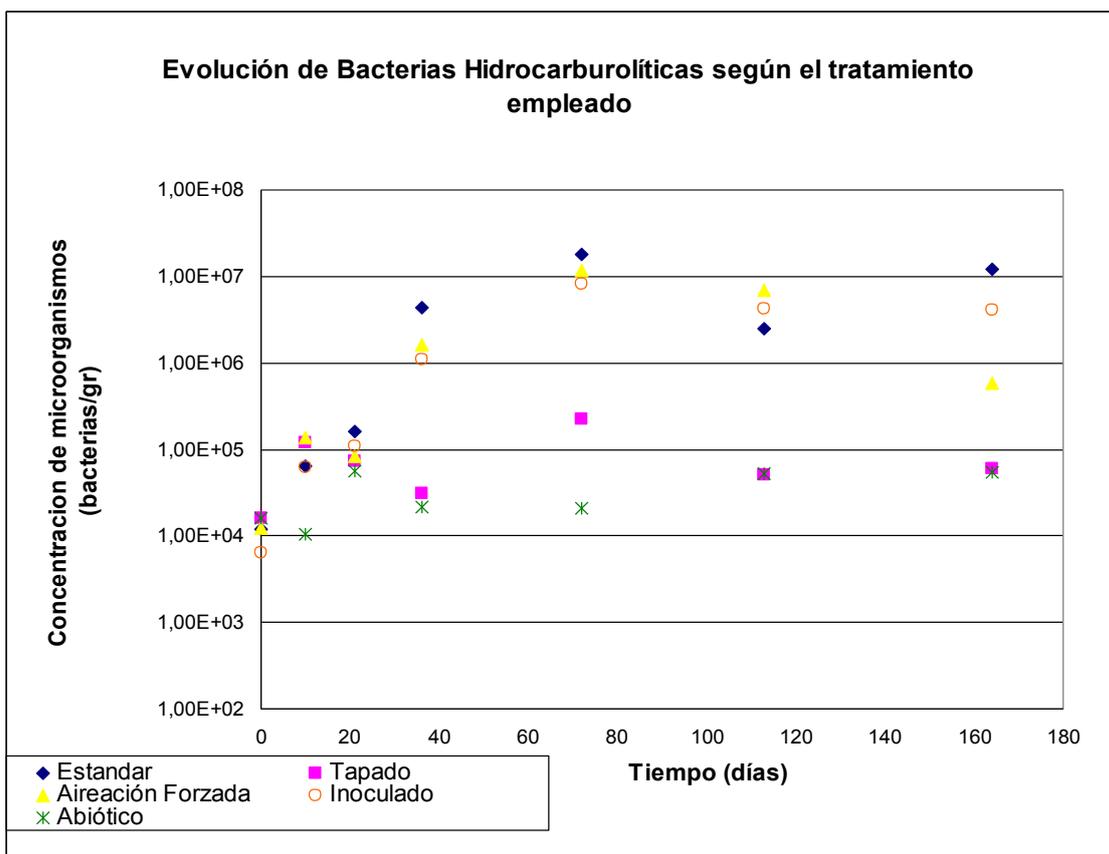


Figura 5. Evolución del Número Más Probable de Microorganismos hidrocarburolicás. Sólo se representaron los valores promedios de cada sistema.

A partir de las placas empleadas para realizar los recuentos de bacterias heterótrofas totales, se pudieron aislar 33 cepas en el primer muestreo y a partir del recuento en placa y de los tubos positivos del número más probable, 82 cepas en el muestreo final. Los aislamientos obtenidos se preservaron en suspensiones con glicerol al 10%.

A partir de esas suspensiones se realizaron repiques a fin de evaluar la capacidad hidrocarburolicá de los aislamientos finales. El 88% de los aislamientos desarrollaron a partir de la suspensión de preservación y 60 % mostraron capacidad de degradar HCT. Se procederá en breve a la caracterización fisiológica y molecular de estos aislamientos, así como también a la caracterización de los aislamientos de la etapa inicial.

DISCUSIÓN

Las curvas de degradación de los hidrocarburos presentan la forma característica de una cinética de reacción de primer orden, como ya ha sido estudiado por otros investigadores [6]. Se evidencia una gran disminución en la concentración durante el período inicial de 60 días, aproximadamente del 50% del valor final de degradación, y luego, en el tiempo restante la disminución se vuelve más lenta, hasta estabilizarse hacia el final del tiempo de ensayo.

Este comportamiento puede deberse principalmente a la biodisponibilidad de nutrientes y cadenas carbonadas lineales durante las primeras etapas del proceso. Los microorganismos tienden a utilizar primeramente sustratos más simples de degradar (cadenas lineales cortas y con pocas ramificaciones), ya que pueden ingresar más fácilmente al interior de las células de



las bacterias. Una vez dentro, las enzimas oxigenasas oxidan los terminales de la cadena, obteniendo energía en el proceso; todo esto es aprovechado por las bacterias para desarrollarse y multiplicarse rápidamente, como demuestra el aumento del número total de bacterias durante las primeras semanas.

Una vez consumidos la mayoría de los compuestos más fácilmente biodegradables, el remanente serán compuestos recalcitrantes (cadenas lineales e insaturadas, anillos) y por ende, más difíciles de aprovechar por los microorganismos. Estos compuestos orgánicos son generalmente degradados fuera de la membrana celular, a través de la liberación de enzimas específicas, las cuales los degradan a alcoholes y cicloalcanos. La energía liberada es aprovechada por la célula para poder desarrollar sus actividades metabólicas [7].

Es muy probable que en las etapas finales, las poblaciones de microorganismos sean esencialmente distintas a las iniciales, debido a la presencia de sustratos diferentes y por lo tanto, de rutas metabólicas de degradación distintas. Esto puede ser constatado en el ensayo, puesto que si bien hacia el final del proceso el nivel de hidrocarburo degradado se mantenía bajo y sólo quedaban hidrocarburos recalcitrantes, hubo un cierto aumento en las poblaciones bacterianas totales y en las de microorganismos hidrocarburolíticos, indicando una posible capacidad de estos últimos para aprovechar fehacientemente este sustrato. Asimismo, a partir del aislamiento en placa de cepas de la etapa inicial y de la etapa final, se pudo observar diferencias morfológicas importantes en las poblaciones bacterianas (aumento de las cepas coloreadas, aumento de las cepas gram negativas), lo cual también sirve como indicador de poblaciones diferentes durante las etapas del proceso. Esto ha sido reportado por otros autores [8].

En cuanto a los sistemas en sí, se puede establecer que si bien ningún sistema alcanzó una efectividad del 100%, el sistema estándar fue el que mejor desempeño tuvo a lo largo del ensayo logrando un porcentaje final del 2,06% en promedio. Esto pudo deberse a la adaptación de las cepas empleadas a las condiciones habituales de desarrollo de la biopila, dado que dichas cepas no sufrieron stress adaptativo. En el caso de los sistemas inoculado y con aireación forzada, presentaron un desempeño muy similar entre si y lograron una tasa de degradación con respecto al valor final esperado (1%) del 66%.

Para el sistema aireado, se observó que el flujo excesivo de aire seco reducía notablemente la humedad del contenido del recipiente y por ende dificultaba la actividad microbiana. Así mismo, el resecamiento provocó aglomerados de material compactado, que impedía el contacto efectivo entre los microorganismos y el sustrato.

Con respecto al sistema inoculado, es necesario contemplar que al inicio del desarrollo experimental se atravesó una etapa de adaptación del consorcio inoculado a las nuevas condiciones, por lo cual esa concentración inicial inoculada se vio disminuida notablemente. Adicionalmente se prevé la realización de determinaciones de metales pesados sobre las muestras de suelos ya que su presencia podría ser otro factor que explicara el hecho de la falta de implantación del inóculo. La adaptación de un inóculo exógeno como también su



supervivencia en la competencia con cepas nativas es uno de los puntos clave en el estudio de estos procesos.

En relación al sistema abiótico, se observó que si bien las poblaciones bacterianas se mantuvieron en concentraciones mucho menores a los demás sistemas, la concentración de hidrocarburos disminuyó durante el período de ensayo de manera similar a los demás sistemas. Esto pudo deberse a la presencia de hongos resistentes a la lavandina, los cuales se desarrollaron en las 3 macetas de este sistema y que posiblemente utilizaban como fuente de carbonos los hidrocarburos presentes en el suelo. Para confirmar lo observado, se realizó un aislamiento de hongos a partir de estos sistemas y se está evaluando su capacidad de degradación de HCT en medio sintético Bushnell-Haas con kerosene.

Por último, del análisis de hidrocarburos totales, se destaca que el sistema tapado tuvo un desempeño muy pobre en la degradación de los mismos. Esto pudo deberse al exceso de agua del sistema, el cual permaneció anegado durante las primeras semanas de ensayo. Es posible que esta abundante humedad haya resultado perjudicial para los microorganismos puesto que dificultaban el transporte y el contacto de las mismas con las moléculas hidrofóbicas de los hidrocarburos. Por otro lado, dicho exceso de agua en los microcosmos junto a la cubierta plástica que los cubría, pudo disminuir la permeabilidad y prevenir una distribución adecuada y uniforme del flujo de aire, dificultando el transporte de oxígeno hacia el interior de los mismos [7]. Se evidenció además en estos sistemas una coloración negra en el suelo, fuerte olor y el llamativo color amarillo claro de los extractos de hidrocarburos en la técnica de recuperación de los mismos, a diferencia de los extractos de los demás sistemas, los cuales eran color ámbar (Figura 6). Estas observaciones podrían indicar diferencias en la composición de los hidrocarburos presentes en cada sistema como consecuencia otras vías degradativas y/o diferente composición microbiana en el consorcio que sobrevive en cada caso en función de mayor disponibilidad de oxígeno u otras posibilidades que deberán ser indagadas en ensayos futuros para incrementar el conocimiento de los procesos de biorremediación y lograr mayores índices de degradación.



Figura 6. Diferencias entre los hidrocarburos extraídos en el sistema abiótico (izquierda) y el sistema tapado. Nótese la diferencia de color y apariencia entre ambos

CONCLUSIONES

A partir de los estudios realizados, se puede concluir que todos los sistemas (a excepción del tapado) han desarrollado patrones característicos de la biorremediación aeróbica. Es destacable el desempeño de los sistemas estándar, inoculado y con aireación forzada, los cuales deben ser estudiados más a fondo con el fin de una posible implementación en mediana escala.

Mención aparte se merece el sistema abiótico, el cual no se comportó de forma abiótica durante el desempeño, por lo cual sería de interés práctico caracterizar el hongo presente en el mismo y evaluar su desempeño como posible microorganismo hidrocarburo lítico.

Asimismo, es muy interesante destacar que otros factores deben ser investigados de manera de lograr un entendimiento mayor de los procesos biorremediativos. Entre dichos factores se encuentran el riego (tanto en su frecuencia como en el agua de irrigación), diferentes condiciones climáticas (evaluar la evolución de los sistemas a la intemperie y/o en invierno) y la utilización de otros sistemas de aireación (tuberías, aire húmedo), entre otros.

Por último, es importante la caracterización de las cepas provenientes tanto de la etapa inicial como de la etapa final del proceso, para así evaluar como evolucionan las poblaciones bacterianas a lo largo del proceso y poder desarrollar posibles consorcios microbianos a partir de cepas autóctonas que degraden hidrocarburos de manera más eficiente.



REFERENCIA

- [1] Vidali, M., Biorremediation: an overview. *Pure Applied Chemistry*, 73, 1163-1172.
- [2] Menendez-Vega, D., Gallego, J.L.R., Pelaez, A.I., Fernandez de Cordoba, G., Moreno, J., Muñoz, D., Sanchez, J., 2007. Engineered in situ biorremediation of soil and groundwater polluted with weathered hydrocarbons. *European Journal of Soil Biology*, 43, 310-321.
- [3] Bento, F.M., Camargo, F.A.O., Okeke, B.C., Frankenber, W.T., 2005. Comparative biorremediation of soils contaminated with diesel oil by natural attenuation, biostimulation and bioaugmentation. *Bioresource Technology*, 96, 1049-1055.
- [4] Bamforth, S.M., Singleton, I., 2005. Review: bioremediation of polycyclic aromatic hydrocarbons: current knowledge and future directions. *Journal of Chemical Technology and Biotechnology*, 80, 723-736.
- [5] Hong-Gyu, S., Bartha, R. 1989. Effects of fuel spill on the microbial community of soil. *Applied and Environmental Microbiology*, 56, 646-651.
- [6] Sanscartier D. et al., 2009. Bioremediation of diesel-contaminated soil by heated and humidified biopile system in cold climates. *Cold Regions Science and Technology* 55, 167-173
- [7] Santos Sobral, L., Monteiro de Oliveira, D., Gomes de Souza, C., 2011, *Biohydrometallurgical Processes: A practical approach*, Chapter 13, 263-286.
- [8] Morelli I. et al., 2005. Laboratory study on the bioremediation of petrochemical sludge-contaminated soil. *International Biodeterioration & Biodegradation* 55, 271-278



Estimación de la fracción evaporativa a partir de registros de humedad de suelo y un lisímetro de pesada *

D. Ocampo^{1,2}, R. Rivas^{1,2}, M. Silicani^{1,2}, F. Carmona^{1,3}, M. Holzman^{1,3} y C. Mancino^{1,2}

¹Instituto de Hidrología de Llanuras "Dr. Eduardo Jorge Usunoff"

²Comisión de Investigaciones Científicas de la provincia de Buenos Aires

³Agencia Nacional de Promoción Científica y Tecnológica.

dora.ocampo@rec.unicen.edu.ar

RESUMEN

La fracción evaporativa (FE), es un indicador del estado de humedad del suelo (Hs) que interviene en la compleja relación suelo-vegetación-atmósfera, actuando como superficie de control en el proceso de evapotranspiración. Esta Hs disponible puede determinarse mediante diversos métodos directos o indirectos. Entre los directos, la sonda de neutrones y el gravimétrico son los de uso más generalizado, siendo éste último el de mayor precisión. En los últimos años, los sistemas de medición basados en la tecnología de Reflectometría de Dominio de Frecuencia (RDF) acapararon el interés en diferentes campos de aplicación. Estos sistemas RDF permiten medir con precisión la Hs, independizándose de la textura y conductividad eléctrica del medio. También es posible determinar el contenido y la variación de agua de suelo a partir de registros de variación de peso en un lisímetro de pesada (LP). El objetivo de este trabajo fue estimar la FE de un suelo argiudol típico a partir de medidas registradas por sensores de Hs basados en la tecnología RDF y compararlos con el valor promedio del contenido de agua en el suelo registrado en el LP. Se diseñó, construyó e instaló un LP, en el cual se ubicaron tres sensores de Hs que integraron el perfil. A partir de la Hs máxima y mínima se calcularon la FE con los sensores (FE_{HS}) y con el LP (FE_{LP}). Los resultados mostraron un alto grado de asociación entre los valores de FE lograda con el LP en relación a la RDF con un RMSE de 0,06. Se concluyó que las medidas de RDF fueron apropiadas para estimar la Hs y pueden ser de utilidad para la validación de datos de satélite.

INTRODUCCIÓN

La humedad de suelo (Hs) juega un rol fundamental en el ciclo hidrológico y en el balance energético del sistema terrestre. Esta puede ser monitoreada a partir de diferentes índices o indicadores que señalan cuanta es el agua disponible en el sistema para que se produzca el proceso de evapotranspiración (ET). En los últimos años, la teledetección ha contribuido de forma positiva al estudio de la Hs, brindando información a diferentes escalas espaciales y temporales (Verstraeten et al. 2008), siendo clave para la planificación, gestión y manejo de los recursos naturales, en particular la vegetación y el agua. Sin embargo, es importante señalar que al momento de aplicar cualquier técnica de teledetección es un requerimiento

Este trabajo participa en el "concurso para jóvenes investigadores".



contar con datos puntuales para la validación de los resultados (Ceballos Barbancho et al. 2004).

Nuevos enfoques abordan el estado de humedad de suelo a partir de la Fracción Evaporativa (FE), definida como un indicador del estado de humedad de la superficie.

Dicho indicador, interviene en la compleja relación suelo-vegetación-atmósfera, donde la evapotranspiración se rige por la energía disponible (de alta periodicidad), la turbulencia (de mayor variabilidad pero menos periódica), y la superficie de control (de variación lenta). La superficie de control se refiere a la humedad del suelo en la zona radicular, y corresponde al agua disponible para las plantas la cual varía a una escala de tiempo mayor que el día (Gentine et al. 2011), es decir comprende la fracción de agua disponible para las plantas, de la cual estas extraen tanto el agua como los nutrientes. Desde el punto de vista energético, cuando el sistema dispone de humedad, la energía es utilizada en el proceso de evapotranspiración. Al contrario con poca o nula humedad de suelo, toda la energía se destina al flujo de calor sensible y la fracción evaporativa se aproxima a cero (Vogt et al. 2011).

El estado de humedad de suelo, y en consecuencia la FE, puede determinarse mediante diversos métodos. Entre los directos, la sonda de neutrones y el gravimétrico son los de uso más generalizado, siendo éste último el de mayor precisión. En los últimos años, los sistemas de medición basados en la tecnología de Reflectometría de Dominio de Frecuencia (RDF o por sus siglas en inglés, FDR) acaparan el interés en diferentes campos de aplicación. Estos sistemas de RDF permiten medir con precisión la H_s , independizándose de la textura y conductividad eléctrica del medio. Otra forma de determinar la disponibilidad de agua en suelo es a partir del balance de agua. Y este último se determina a partir de la ayuda de lisímetros (Santa Olalla Mañas et al. 2005). Según el Glosario Hidrológico Internacional de la UNESCO, un lisímetro consiste en una vasija que contiene una muestra del suelo local con su parte superior a nivel con la superficie del terreno, para el estudio de varias fases del ciclo hidrológico, por ejemplo infiltración, escorrentía, evapotranspiración, eliminación de componentes solubles por el drenaje, entre otros (<http://webworld.unesco.org/water/ihp/db/glossary/glu/aglo.htm>). Es decir, un lisímetro simula la relación natural que existe entre el suelo, la vegetación y la atmósfera, donde la FE cumple una función determinada: constituye la fracción de agua disponible para el desarrollo del proceso de evapotranspiración. Existen diferentes tipos de lisímetros (Aboukhaled et al. 1986; Parisi et al. 2009) entre los que se pueden citar a los lisímetros de drenaje (LD) y a los lisímetros de pesada (LP). Los últimos, proporcionan datos sobre la variación promedio del contenido de agua en el suelo (ΔS), que viene dada por la diferencia en el peso del lisímetro antes y después de un período determinado de tiempo (t). Los LP proveen datos continuos o discretos. La diferencia entre éstos es que los primeros registran datos en un logger y los segundos corresponden a medidas, por lo general manuales, que se realizan con un cierto intervalo de tiempo (medidas intermitentes, del orden de días) (Howell et al. 1991). Estas



medidas manuales son registradas por un sistema de pesaje portátil que permite el pesado de la muestra de la vasija que contiene el suelo.

El objetivo de este trabajo es estimar la fracción evaporativa de un suelo arguidol típico a partir de medidas registradas por sensores de humedad de suelo y validar los datos a partir de la variación promedio del contenido de agua en el suelo registrada en un lisímetro de pesada.

DESARROLLO EXPERIMENTAL Y ÁREA DE ESTUDIO

Planteo del Problema

La necesidad de contar con medidas precisas de la Hs es prioridad en diferentes disciplinas científico-técnicas. Los diversos métodos existentes cuentan con determinadas capacidades y precisiones aptas para diferentes estudios de la dinámica de la Hs. Ésta puede determinarse a partir de diversos métodos. Entre los directos, la sonda de neutrones y el gravimétrico son los de uso más generalizado, siendo el segundo el de mayor precisión. El método gravimétrico consiste en una metodología poco práctica y menos rápida que otras, además de ser “destruktiva” y no permitir medidas continuas de la misma porción de suelo. Por otro lado, la sonda de neutrones, además del costo que implica el equipo, requiere de la capacitación de su operador. A esto se suma que en los últimos años se le está otorgando cierta desconfianza por la contaminación que genera sus materiales radioactivos (Florentino, 2006). Ante esta situación, nuevas metodologías toman relevancia, tal es el caso de las sondas de capacitancia y los métodos dieléctricos. Consisten en tecnologías económicas, de manejo sencillo y de buena precisión, además de constituirse en métodos “no destructivos”. En los últimos años, los sistemas de medición basados en la tecnología de RDF han acaparado el interés en diferentes campos de aplicación, particularmente en agronomía. Sin embargo, en áreas como la Teledetección podrían presentarse como métodos adecuados para la validación de datos. Misiones actuales, como la misión SMOS (Soil Moisture and Ocean Salinity) instalaron un red permanente de sensores de Hs utilizada para la validación de los datos obtenidos por un radiómetro interferométrico de dos dimensiones aplicado a la banda L (Mattar et al. 2011).

La principal ventaja que presentan este tipo de sensores, es que permiten medir con precisión la Hs, independizándose de la textura y conductividad eléctrica del medio. Además son adecuados para su instalación a diferentes profundidades, permitiendo hacer un seguimiento de la Hs del perfil hasta aproximadamente los 100 cm.

Se propone en este trabajo determinar si las sondas RDF son adecuadas para estimar un índice que señale el estado de humedad de un suelo, como la fracción evaporativa.

Área de aplicación

El ensayo se realizó con datos registrados desde septiembre de 2011 a mayo 2012 en un predio ubicado en el Campus de la Universidad Nacional del Centro de la provincia de Buenos Aires, Tandil (UNCPBA-Buenos Aires, Campus Tandil, 37° 19' S y 59° 08' O, 214 m). Dicho predio es manejado por personal del Instituto de Hidrología de Llanuras “Dr. Eduardo J. Usunoff” y se encuentra cubierto de pastura natural. El suelo corresponde a un arguidol



típico, profundo, formado en el Cuaternario sobre loess pampeano. Estudios realizados por el Laboratorio de Análisis de Suelos de la Facultad de Agronomía-UNCPBA determinaron que corresponde a un suelo de textura franco arcillosa (45% de arcilla). Además, según el mapa de suelos 1:50000 del INTA, dicho suelo forma parte de la Unidad cartográfica SP (Sierra de los Padres) 6, una consociación que incluye los suelos serie Mar del Plata, serie Tandil y serie Cinco Cerros.

En cuanto al clima del área es sub húmedo-húmedo (precipitación anual aproximada a ≈ 900 mm, Servicio Meteorológico Nacional de Argentina, periodo 2000-2011, $37^{\circ} 14' S$ y $59^{\circ} 15' O$, 175 m) y templado ($14,0^{\circ} C$ de temperatura media anual). Las precipitaciones se concentran en los meses de enero, marzo, noviembre y diciembre, superando cada mes en promedio los 80 mm.

Caracterización del instrumental y equipos de medición utilizados

El instrumental y equipos utilizados en este trabajo se describen en la Tabla I. Se utilizaron 3 sensores de humedad de suelo, que registraron las medidas en milivoltios (mV). Luego, a partir de ecuaciones específicas para el suelo, se convirtieron los mV a contenido volumétrico de agua (θ , por su siglas en inglés, VWC, Volumetric Water Content) (Rivas y Ocampo, 2009). El principio de funcionamiento de este tipo de sensores está basado en la relación existente entre el agua y la constante dieléctrica del suelo, utilizando la tecnología de Reflectometría de Dominio de Frecuencia (Florentino, 2006). Además presentan la particularidad de integrar la humedad de suelo tanto a 5, 10 y 20 cm, según el sensor que se trate.

<i>Instrumental/equipo</i>	<i>Medida/función</i>	<i>Precisión/Rango</i>
Balanza digital	Peso del lisímetro	± 200 g
Pluma de ginche hidráulico	Levantar el lisímetro	Hasta 2000 Kg.
Pluviómetro	Precipitación	$\pm 0,05$ litros (según OMM)
Sensor Decagon Devices, Inc EC-10 y Sensor Cavadevices SHC-20	Humedad de suelo	$\pm 3\%$ de VWC sin calibrado, $\pm 1\%$ con calibración específica. Rango: 0-100 % VWC.

Tabla I. Sensores y equipo de medición empleado.

Diseño del lisímetro de pesada y ubicación de los sensores RDF

El lisímetro de pesada se construyó e instaló en septiembre de 2011 en un predio experimental del Campus Tandil. Tiene una superficie de $0,27 \text{ m}^2$ y una profundidad de 0,85 m. Está compuesto por un contenedor cilíndrico con ranurado en el fondo, donde el piso del lisímetro presentó una chapa soldada en ángulo para facilitar el drenaje del excedente de agua. El LP se apoyó sobre placas de cemento (estructura de soporte) separadas verticalmente una de la otra a 5 cm (Figura 1).

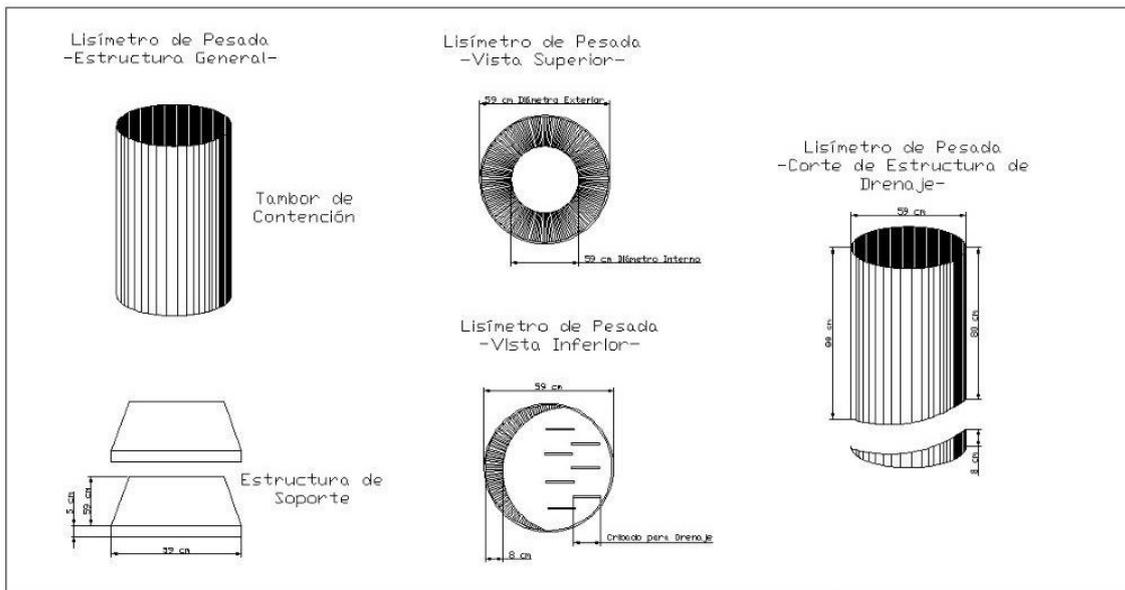


Figura 1. Detalle del diseño del lisímetro de pesada (adaptado del proyecto de tesis de especialización de Silicani, 2011).

El cilindro se rellenó con el suelo del lugar de la siguiente forma:

- 1) 15 cm de grava de tamaño 12-24 mm sobre el fondo ranurado.
- 2) Espesor de suelo ubicado a 40-60 cm de profundidad. Luego se instaló un sensor de humedad (SHC-20).
- 3) Espesor de suelo ubicado a 20-40 cm de profundidad. Luego se instaló el segundo sensor de humedad de suelo (SHC-20).
- 4) Espesor de suelo a los 0-20 cm de profundidad. Finalmente, se instaló el tercer sensor de humedad de suelo (EC-10 Decagon Devices).

Los sensores de humedad de suelo se conectaron a un logger marca CAVADEVICES. Este presenta 8 canales de conexión, con capacidad de almacenamiento de 2000 datos con una resolución temporal horaria (Figura 2).

En el Apéndice se presenta el protocolo de medición del LP paso a paso para realizar correctamente la medida del registro de variación de peso.

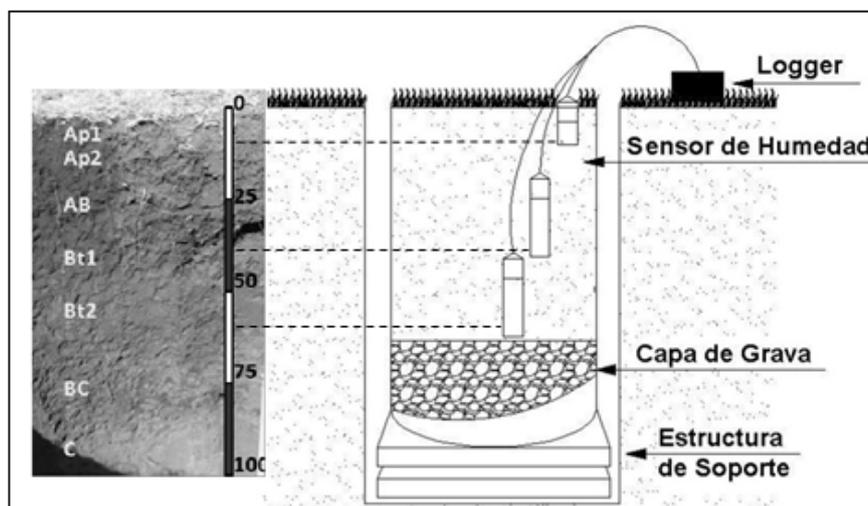




Figura 2. Perfil del suelo y esquema representativo del lisímetro de pesada.

Metodología utilizada para la obtención de la fracción evaporativa

La fracción evaporativa del suelo se determinó según dos metodologías, por un lado, a partir de la variación del peso del lisímetro, la cual se consideró como la medida real “observada” de la disponibilidad de agua en el suelo; y por otro, a partir del registro de humedad detectado por los sensores RDF ubicados en el lisímetro, considerado en este caso la disponibilidad de agua en suelo “estimada”.

- La Ecuación 1 permitió el cálculo de la FE a partir de los registros de la variación del peso del lisímetro (FE_{LP}):

$$FE_{LP} = \frac{P_{di} - P_{\min}}{P_{\max} + P_{\min}}$$

(1) donde P_{di} es el peso del LP registrado el día i , P_{\min} es el peso mínimo (sin agua en el perfil del suelo) y P_{\max} es el peso máximo registrado en el lisímetro (capacidad de campo).

- La Ecuación 2 permitió el cálculo de FE a partir de los registros de humedad de suelo medidos en el lisímetro (FE_{HS}) (Rivas y Ocampo, 2009):

$$FE_{HS} = \frac{Hs_{di} - Hs_{\min}}{Hs_{\max} + Hs_{\min}}$$

(2) donde Hs_{di} es la humedad de suelo promedio registrada por los sensores a tres profundidades el día i - a escala diaria-, Hs_{\min} es la humedad mínima de suelo, Hs_{\max} es la humedad máxima de suelo.

Para esta investigación se utilizaron 30 medidas correspondientes a registros puntuales del lisímetro realizados con una periodicidad de entre 3 y 4 días.

Análisis de Datos

Los valores de humedad de suelo detectados por los sensores RDF (a diferentes profundidades) y de precipitación se analizaron a partir de gráficos de líneas y barras. Obtenidos los valores de FE a partir de los métodos propuestos (Ecuaciones 1 y 2), la comparación entre la FE_{HS} y FE_{LP} se realizó considerando 3 criterios: la inclusión de un procedimiento gráfico que represente la comparación entre valores obtenidos por ambos métodos, un índice adimensional que exprese la bondad del ajuste y un indicador de error (Legates and McCabe, 1999; Ritter et al. 2011). Se utilizó para ello, un diagrama de dispersión simple que representó la comparación entre valores obtenidos por el método FE_{HS} (eje de la Y) versus FE_{LP} (eje de las X). Y se calcularon el coeficiente de determinación (r^2) y el índice estadístico Root Mean Square Error (RMSE), interpretando al método FE_{LP} como el de referencia y al método FE_{HS} como el método a evaluar.



RESULTADOS

Comportamiento de la humedad en el perfil del suelo

La Figura 3 muestra la evolución temporal del θ (%v/v) a diferentes profundidades del perfil (0-10 cm, 20-40 cm y 40-60 cm) y la precipitación (mm) desde el 20 de septiembre de 2011 hasta el 19 de abril de 2012. Se observa como respondieron los sensores de humedad de suelo ante eventos de precipitación, donde se destaca la respuesta inmediata del sensor ubicado a 10 cm, y un retraso para los sensores ubicados a mayor profundidad.

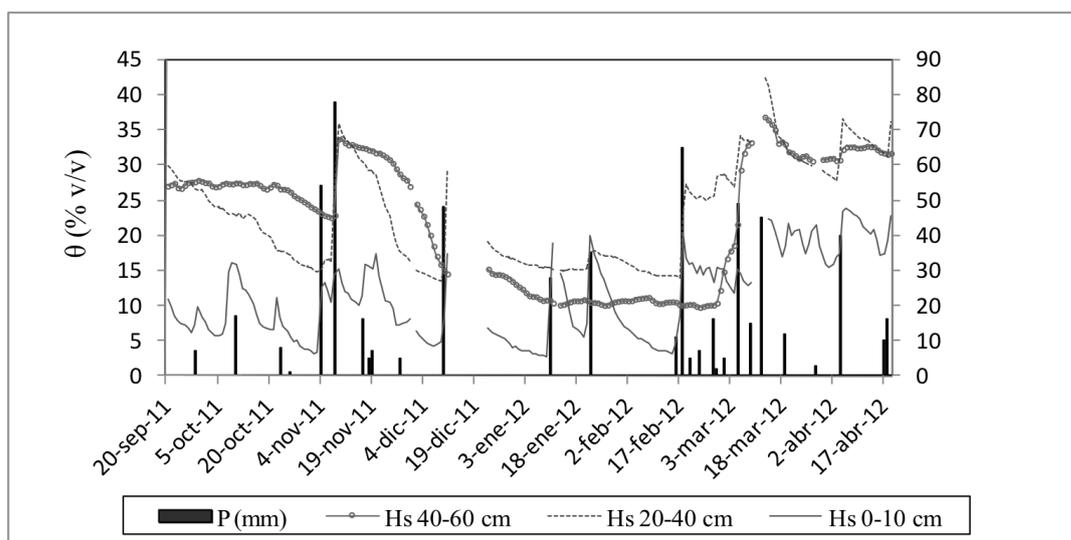


Figura 3. Contenido volumétrico de agua en el lisímetro a tres profundidades y precipitación registrada.

La precipitación del periodo correspondió a 610 mm (que representó el 70 % del total anual). Las mayores precipitaciones se concentraron en noviembre-diciembre 2011 y enero-febrero-marzo-abril-mayo 2012, siendo este comportamiento representativo del régimen hídrico del área de estudio (Tandil, provincia de Buenos Aires-Argentina). Sin embargo, se observó un importante déficit hídrico durante el mes de octubre, donde la precipitación fue 70 % inferior al promedio histórico (Figura 4).

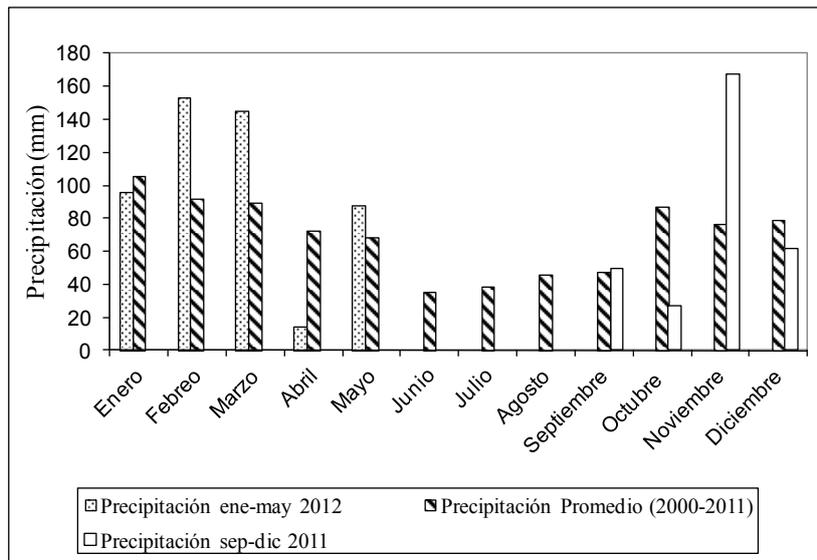


Figura 4. Precipitación mensual registrada durante el periodo septiembre 2011 mayo 2012.

En la Tabla II se observan los valores máximos y mínimos de la Hs y del peso del lisímetro registrados para el periodo de estudio. Estos valores se utilizaron para la estimación de la FE a partir de la aplicación de las Ecuaciones 1 y 2. El valor de máxima de Hs correspondió a marzo (13 de marzo de 2012) y de peso del lisímetro a mayo (22 de mayo de 2012). El valor mínimo de Hs se registró en enero (16 de enero de 2012) y el peso en febrero (15 de febrero de 2012).

Método de medición	Valor máximo	Valor mínimo
Sensores de Hs (automático)	34 %	9 %
Peso del LP (manual)	303,2 Kg	262,4 Kg

Tabla II. Registros máximos y mínimos de Hs y pesos del LP en el ensayo experimental.

Comparación de los valores de la FE_{Hs} y la FE_{LP}

La Figura 5 representa el diagrama de dispersión entre los valores de FE_{LP} (“método de referencia”) y los de FE_{Hs} (“método a evaluar”). Se observó que los puntos del diagrama de dispersión están relativamente cerca de la recta de ajuste. Dicha recta describió la relación lineal existente entre ambas variables.

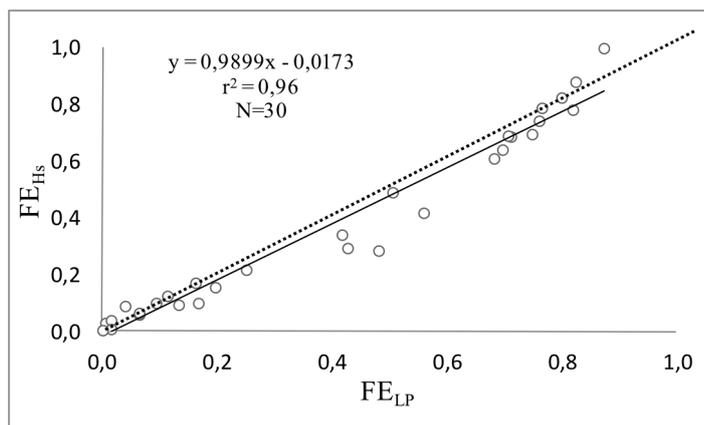


Figura 5. Comparación de la FE_{Hs} y FE_{LP} (línea punteada recta 1:1).

Para valores muy bajos ($< 0,1$) y muy altos ($> 0,8$) la FE_{Hs} sobrestimó en relación a FE_{LP} y para valores bajos e intermedios ($0,1 < FE_{LP} < 0,8$) subestimó (Figura 5). De la comparación entre los valores de la FE_{Hs} y la FE_{LP} , se desprende un alto coeficiente de determinación y un RMSE de 0,06.

DISCUSIÓN

A partir del comportamiento de las precipitaciones se pudieron identificar para el periodo de estudio los valores máximos y mínimos de humedad de suelo, es decir excesos y déficit.

Las curvas de comportamiento de humedad de suelo a diferentes profundidades y su respuesta ante eventos de precipitación, describieron de forma generalizada la sensibilidad que presentaron los sensores RDF. Se detectaron particularmente importantes diferencias para el sensor ubicado a 10 cm de profundidad en relación a las instaladas a mayor profundidad. La rápida respuesta (o su retardo) del sensor se relacionó con la velocidad de avance del agua en el perfil. Dicha velocidad depende no solo de las características del suelo (textura y estructura) sino también del contenido inicial de humedad en éste.

Los registros de humedad posteriores indicaron que el frente de humedad avanzó en el perfil, siendo detectado por los sensores ubicados a mayor profundidad.

A partir de los registros en las tres profundidades, se pudo estimar la Hs promedio y la FE_{Hs} para todo el perfil.

Del diagrama de dispersión (Figura 5), se desprende que sobre la nube de puntos se determinó una función lineal de ajuste de los datos de FE. Como pudo observarse, cada valor tomado de FE_{Hs} varió en función de los valores de FE_{LP} , donde el patrón de comportamiento demostró una baja dispersión de los puntos indicando un alto grado de asociación entre ambas variables cuantitativas. Por otro lado, el alto valor del coeficiente de determinación ($r^2=0,96$) indicó la bondad del ajuste sumado a un bajo error en la estimación representado por un RMSE de 0,06.

En conjunto, el patrón de dispersión, el buen ajuste y el bajo error logrado demostraron la buena capacidad de los sensores RDF para determinar la disponibilidad de agua en el mismo, es decir, la fracción evaporativa, de forma no destructiva, económica y sencilla. Estas



capacidades son significativas al momento de considerarlo como potencial método de validación de datos de satélite.

Debe destacarse que, para este estudio, los registros de variación del peso del lisímetro forman parte de una metodología “directa” para determinar la disponibilidad de agua en suelo y la evapotranspiración. En este estudio se lo consideró como el método “de referencia” para compararlo con el basado en la tecnología de RDF.

CONCLUSIONES

El estudio demuestra que a partir de sensores basados en la tecnología de Reflectometría de Dominio de Frecuencia, ubicados a diferentes profundidades de un perfil de suelo, es posible determinar la fracción evaporativa de forma no destructiva y simple, con alta precisión ($RMSE=0,06$) y bajo costo. Los sensores empleados conforman alternativas a instrumental complejo, costoso, destructivo y contaminante (radiactivos), como las sondas de neutrones. Esto último no indica que se recomiende su reemplazo, sino que conforman “alternativas” de alto grado de precisión, menor costo y que no requieren de un entrenamiento especializado por parte del operador.

Los datos de fracción evaporativa logrados son apropiados para estudiar la dinámica de la humedad de un perfil de suelo y pueden ser de utilidad para la validación de datos de satélite. Y es en este último punto donde la metodología empleada adquiere mayor relevancia, ya que puede reproducirse sin mayores inconvenientes, por ser de sencilla aplicación y de bajo costo.

AGRADECIMIENTOS

Esta investigación fue financiada con fondos del Instituto de Hidrología de Llanuras “Dr. Eduardo J. Usunoff”, la Comisión de Investigaciones Científicas y la Agencia de Promoción Científica y Tecnológica. Nuestro agradecimiento al técnico Hugo Ringuelmam, al Mg. Martín Bayala y a la Dra. Silvia Mestelan del Laboratorio de Análisis de Suelos de la Facultad de Agronomía (UNCPBA) por la colaboración brindada durante el estudio.

REFERENCIA

- [1] Verstraeten, W.W.; Veroustraete, F. and Feyen, J. 2008. Assessment of Evapotranspiration and Soil Moisture Content Across Different Scales of Observation. *Sensors*, 8:70-117.
- [2] Ceballos Barbancho, A.; Martínez Fernández, J.; Casado Ledesma, S., Morán Tejeda, C. and Hernández Santana, V. 2004. Estimación de la humedad de suelo a partir de la señal de radar (ERS-Scatterometer): experiencia, resultados y aplicaciones en la Cuenca del Duero (España). En: *Territorio y Medio Ambiente: Métodos Cuantitativos y Técnicas de Información Geográfica*. (Eds.) C. Conesa García y J.B. Martínez Guevara. Universidad de Murcia y Asociación de Geógrafos Españoles.



- [3] Gentine, P.; Entekhabi, D. and Polcher, J. 2011. The Diurnal Behavior of Evaporative Fraction in the Soil-Vegetation-Atmospheric Boundary Layer Continuum. *Journal of Hydrometeorology*, 00: 1-17.
- [4] Vogt, J-V; Niemeier, S. and Viat, A.A. 2011. Monitoring water stress at regional scales. *Proceedings of the 23rd Canadian Symposium on Remote Sensing, Canada*. 315-321.
- [5] Santa Olalla Mañas, López Fuster, F. y Calera Belmonte, A. 2005. *Agua y Agronomía*. (ed.) Mundi-Prensa Libros S.A., 606 pp.
- [6] Aboukhaled, A. A.; Alfaro, A.; M. Smith. (1986). *Los lisímetros*. Irrigation and Drainage Paper No. 39, FAO. Rome, Italy. 68p.
- [7] Parisi, S.; Mariani, L.; Cola, G. and Maggiore, T. 2009 Mini-Lysimeters evapotranspiration measurements on suburban environment. *Italian Journal of Agrometeorology*, 3:13-16.
- [8] Howell T.A.; Schneider A.D. and Jensen M.E. 1991. History of lysimeter design and use for evapotranspiration measurements. In: *Lysimeters for Evapotranspiration and Environmental Measurements*, Allen, R.G; Howell, T.A.; Pruitt, I,W. and Jensen, M.E (Ed.), *Proceedings of International Symposium on Lysimetry*, ASCE, New York.
- [9] Florentino, A. 2006. Métodos para medir el contenido de agua en suelo. *Venezuelos*, 14(1): 48-70.
- [10] Mattar, C., Sobrino, J.A., Wigneron, J.C., Jiménez-Muñoz, J.C. y Kerr, Y. 2011. Estimación de la humedad del suelo a partir de índices de vegetación y microondas pasivas. *Revista de Teledetección*, 36: 62-72.
- [11] R. Rivas, y D. Ocampo. 2009. Comportamiento del balance de energía en un cultivo de Avena sativa L. En: *Estudios de la zona no saturada del suelo. Área Temática III ZNS'09*. O. Silva y J. Carrera (Ed.), ED. CIMNE (Barcelona, España), Vol IX: 336-343, <http://congress.cimne.com/zns09/frontal/papers.asp> ISBN 978-84-96736-83-2.
- [12] Silicani. M. 2011. Proyecto de tesis de Especialización en Riego y Drenaje: Diseño, construcción y operación de un lisímetro de bajo costo. Facultad de Ciencias Agrarias, UNCU.
- [13] Legates, D.R and McCabe, G.J. 1999. Evaluating the use of "goodness-of-fit measures in hidrologic and hidroclimatic model valiation. *Water Resources Research*, 35, 233-241.
- [14] Ritter, A., Muñoz-Carpena, C. y Regalado, C.M. 2011. Capacidad de predicción de modelos aplicados a la ZNS: herramienta informática para la adecuada evaluación de la bondad de ajuste con significación estadística. En: *Estudios de la zona no saturada del suelo. Área Temática IV ZNS'11*. J. Martínez Fernández y Nilda Sánchez Martín (Ed.), Salamanca (España), Vol X: 259-264, <http://www.zonanosaturada.com/zns11/publications.html> ISBN 978-84-694-6642-1.



APÉNDICE

Procedimiento empleado para el registro de variación (ΔS) de peso del lisímetro

Paso 1. Colocadas la pluma de ginche hidráulico y la balanza digital en el lugar, se procedió a colgar el lisímetro a partir de las tres cadenas ubicadas en el borde superior del contenedor del lisímetro, colocadas en ángulo de 120° .

Paso 2. Lograr la elevación de la porción de suelo a partir de la fuerza hidráulica del ginche y evitar que la estructura roce con las paredes internas del pozo (Figura 6).

Paso 3. Lograda esta última situación, se procede al registro del peso del lisímetro. La frecuencia de las pesadas es dos veces a la semana durante los meses donde el proceso de evaporación es más importante (octubre-abril aproximadamente). La frecuencia se reduce a una vez a la semana durante el resto del año.

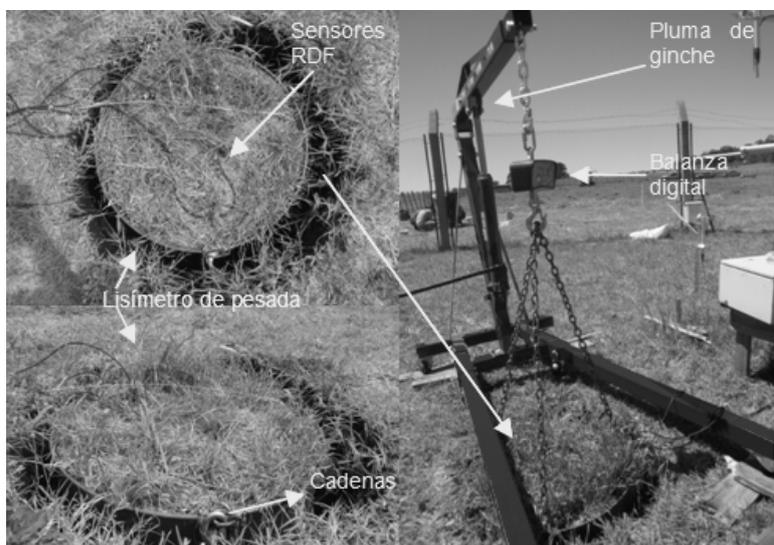


Figura 6. Imágenes del lisímetro de pesada y representación del procedimiento de medición.



Vulnerabilidad social bajo influencias de aluviones en la ciudad de San Luis, Argentina

Ortiz Julio, Merlo Matías

Departamento de Geología, FCFMyN, Universidad Nacional de San Luis, Ejército de Los Andes 950, Bloque II, CP: 5700, San Luis, Argentina,

jfortiz_80@hotmail.com, matimem@gmail.com

Palabras claves: factores, fenómeno, climático.

RESUMEN

El presente trabajo hace referencia a la problemática de aluviones que afectan a la ciudad de San Luis. Se expone las características intrínsecas de la región como la geología, geomorfología, clima, suelo, vegetación y características antrópicas, las cuales condicionan en mayor o menor medida el riesgo de los aluviones en la ciudad. Se realizó una búsqueda de antecedentes donde se observó como este fenómeno afecta en gran medida a la sociedad en general y a las construcciones. Se llevó a cabo un trabajo de relevamiento por la ciudad y sus alrededores, que permitió describir factores naturales que colaboraron en la problemática aluvional, reconocer las precarias condiciones humanitarias y edilicias que presentan algunos asentamientos en la ciudad, localizadas sobre canales de drenajes naturales; aumentando así la vulnerabilidad de los mismos, por ultimo luego de un análisis en gabinete, se delimitó el abanico aluvial sobre el cual se asienta la ciudad de San Luis y establecer claramente zonas con diferentes grados vulnerabilidad. De esta manera se concluyó que los factores naturales desencadenantes, involucrados en la manifestación de este proceso natural, fueron los factores geológicos y los antrópicos; que sumado a un cambio climático actual, a escala planetaria, este fenómeno natural se tornaría de alta peligrosidad en la sociedad. Por lo cual se propuso una verdadera planificación y estudio del abanico aluvial y su cuenca hídrica, con el fin de aplicar medidas a corto, mediano y largo plazo, tendientes a minimizar daños futuros.

INTRODUCCIÓN

La evidencia de un dramático Cambio Climático a escala planetaria ha sido observado en los últimos cien años. El Cuarto Informe de Evaluación del Cambio Climático del IPCC (Grupo Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático) muestra que tal cambio se genera principalmente de actividades antrópicas. La emisión de GEI (Gases del Efecto Invernadero), la diseminación de grandes cantidades de pequeñas partículas en la atmósfera (aerosoles) y los cambios en el uso del suelo, generados por acciones humanas, son las causas principales de los cambios climáticos observados.

Las emisiones de GEI constituyen la base del rápido aumento de la temperatura media del planeta en los últimos cien años. Se asocian en primer lugar con la quema de combustibles fósiles y en menor medida con las actividades agropecuarias tales como la agricultura en



terrenos inundados, la cría de rumiantes y la destrucción de los bosques. Las emisiones de GEI, al alterar la composición química de la atmósfera, potencian el efecto invernadero natural.

De manera creciente los ciudadanos y los líderes mundiales consideran al cambio climático como uno de los mayores problemas que enfrenta la humanidad. Esto se debe a los severos impactos económicos, sociales, políticos y ecológicos que el Cambio Climático genera y que su mitigación también afectará el sistema productivo social.

En las últimas décadas han acontecido importantes cambios en el clima y la hidrología en la Argentina, con los siguientes impactos que en su mayoría requieren medidas de adaptación, entre los más importantes cambios:

El aumento de las precipitaciones medias y extremas anuales en casi toda la Argentina y muy especialmente en el noreste y en la zona oeste periférica a la región húmeda tradicional, que ha favorecido la expansión de la frontera agrícola.

El aumento de la temperatura en la zona cordillerana de la Patagonia y Cuyo, que dio lugar al retroceso de casi todos los glaciares.

El aumento del caudal de los ríos y de las inundaciones en todo el país excepto en San Juan, Mendoza, Comahue y norte de la Patagonia.

Conforme al estado actual del conocimiento, los mayores cambios climáticos proyectados para el periodo 2020 / 2040 demandarán la elaboración de políticas y estrategias de adaptación. Entre ellos se puede mencionar:

- Alteraciones en el caudal de los ríos de la Cuenca del Plata.
- Aumento del estrés hídrico en todo el país, especialmente en el N y parte O.
- Potencial crisis de agua en Mendoza y San Juan.
- Disminución de la potencial oferta hidroeléctrica en el Comahue.
- Continuación de la alta frecuencia de precipitaciones intensas e inundaciones en las zonas actualmente afectadas por estos eventos.
- Continuación del retroceso de los glaciares.
- Afectación de algunos puntos del litoral marítimo y de la costa del Río de la Plata por el aumento del nivel del mar.
- Aumento de la enfermedades infecciosas transmitidas por vectores y el resurgimiento de otras que fueron erradicadas (paludismo, entre otras).

En este contexto el Cambio Climático trae consigo variaciones graduales y a largo plazo de los parámetros climáticos de temperatura y precipitaciones a nivel regional y local. A causa de esto muchas condiciones de vida se ven amenazadas, San Luis no será ajeno a estas variaciones en los recursos de agua, en la producción agrícola y en los asentamientos humanos, como así también en la provisión de energía y en la atención del sector salud.

(Universidad de Buenos Aires, 2009).



MOTIVOS

Observando la problemática de las intensas precipitaciones sobre la Ciudad de San Luis y las consecuencias y daños que éstas generan en barrios de poblaciones carenciadas y de bajos recursos, se logrará una aproximación a la complejidad vinculada a la problemática ambiental y social, que afecta en las zonas periféricas de la ciudad de San Luis.

Promover la realización de estudios científicos que estén orientados a resolver problemáticas sociales.

Se reconoce la necesidad de trabajar en equipos interdisciplinarios y desarrollar criterios para la resolución de problemas ambientales derivados del cambio climático ocurridos por fenómenos naturales (en este caso las precipitaciones), como así también por aquellos derivados de la actividad humana.

HIPÓTESIS

Diferentes factores naturales y antrópicos aumentarían la vulnerabilidad de la Ciudad de San Luis frente a aluviones producidos por fuertes precipitaciones, y en consecuencia mayor afección social en barrios de bajos recursos.

OBJETIVOS

Realizar un estudio local y de caso en la complejidad vinculada a las intensas precipitaciones y la generación de aluviones, en la Ciudad de San Luis, derivados por el efecto del cambio climático regional y local.

Contribuir a la elaboración de un relevamiento en la Ciudad de San Luis en relación a los cambios de las condiciones de precipitación a enfrentar en las próximas décadas en infraestructura, salud, transporte, educación y vivienda.

Realizar un análisis cuantitativo con los registros de aluviones en la ciudad da San Luis.

Cuantificar los daños que se producirían en eventuales aluviones sobre la población y detectar las zonas de mayor vulnerabilidad social.

Favorecer el desarrollo del conocimiento sobre los aluviones en la Ciudad de San Luis.

Analizar las consecuencias primarias y secundarias de los aluviones en las diversas dimensiones de la vida social.



Naturaleza y tipo de trabajo

La naturaleza del trabajo es de tipo descriptivo y explicativo, orientado a buscar y especificar los daños sociales generados en los barrios afectados por las altas precipitaciones y el desarrollo de aluviones.

También midiendo y evaluando las consecuencias sociales que éstos fenómenos naturales generan, teniendo en cuenta una serie de variables como: las condiciones humanas, distribución y tipo de construcciones, la hidrología y los aspectos geológicos (tipo de roca, componentes edáficos y estructuras).

Ubicación y vías de acceso

La Ciudad de San Luis está ubicada prácticamente en el centro de la República Argentina.

Vía terrestre se puede acceder por distintos sectores: desde el E y O por la ruta nacional N° 7, desde el N por la ruta provincial N° 147, desde el NE por la ruta provincial N° 146 y desde el S por la ruta provincial N° 3.

Vía aérea se puede utilizar el aeropuerto internacional de la Provincia de San Luis ubicado en el sector norte de la Ciudad de San Luis.

Las coordenadas GAUSS-KRUGER son Y:3470000 X:6317857, se encuentra a una altitud de 700 msnm (SEGEMAR 2002).

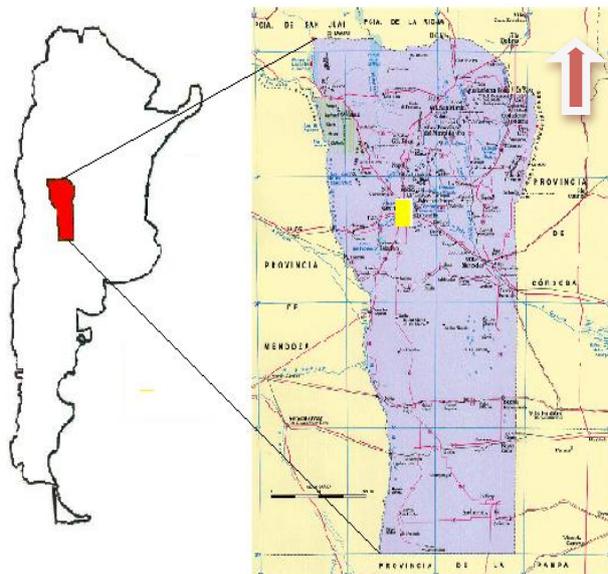


Figura N°1 - Mapa de la Provincia de San Luis.
Fuente: Atlas Digital de la Provincia de San Luis, 2001. ULP.



Figura N° 2 - Mapa de la Ciudad de San Luis y vías de acceso
Fuente: Google Map, 2012.

ANTECEDENTES

Los aluviones son flujos muy rápidos de una crecida de agua que transporta una gran carga de detritos a lo largo de un canal, usualmente también llamados Flujos Hiperconcentrados o Debris Floods (Flujos de detritos), (Hungry; 2001).

El término de aluvión se lo considera para las zonas de Perú, Chile y Argentina.

El Cambio Climático Mundial ha generado una modificación en la temperatura global del planeta y como consecuencia de ello ha provocado un aumento de las precipitaciones a escala regional.

Los asentamientos urbanizados y no urbanizados se ven afectados por tal efecto, este aumento de las precipitaciones sumado a la falta de planificación urbana, la desertificación constante y el mal uso del suelo, son factores fundamentales en la generación de aluviones.

En el mundo los aluviones afectan tanto a países desarrollados como también a países en vías de desarrollo.

En la Provincia de San Luis el aumento de las precipitaciones provoca una amenaza constante de los aluviones repentinos que representan uno de los principales peligros geológicos que afectan a las ciudades que son construidas sobre planicies aluviales pedemontanas. Las aguas de lluvias torrenciales ocurridas durante los meses de verano, pueden dar lugar, en sólo algunas horas, a violentos aluviones caracterizados por su alta velocidad, poca profundidad y gran carga de sedimentos y detritos. (USGS, Science for a changing world, 2010).

El fenómeno se agrava cuando se reduce el índice de infiltración debido a lluvias previas. Estos torrentes se generan en la zona montañosa, con fuerte pendiente. (USGS, Science for a changing World, 2010).



LA LLUVIA Y LA CRECIDA CAUSARON DESTROZOS EN EL PUEBLO

El Trapiche golpeado por la furia de otra tormenta

Evacuaron a 70 personas porque el río creció hasta cinco metros. El agua arrastró árboles, mesadas de asadores, plicras y una pesada carga de barro que anegó las calles. Por eso prohibieron acampar por dos días en las márgenes del río. En Potrero la crece sobrepasó puentes y en El Suyoque rompió un acueducto. Pág. 11



DESOLADO MAQUINAS Y OBREROS TRABAJAN PARA LIMPIAR EL PUEBLO

Foto N° 3: Antecedentes de fuertes tormentas - diferentes publicaciones- San Luis, Argentina.
Fuente: Diario de la República. Provincia de San Luis.

En la Ciudad de San Luis los aluviones repentinos después de una intensa tormenta afectan principalmente a toda la ciudad y las zonas periféricas (Diario de la República. Provincia de San Luis).

Esto puede observarse en algunos ejemplos producidos durante las últimas tormentas registradas en la ciudad, como es en el caso del día 23 de diciembre de 2009.

DESARROLLO

Evaluación de vulnerabilidad

En la ciudad de San Luis se puede tomar como amenaza principal la generación de aluviones, relacionado con las lluvias torrenciales de corta a media duración -90 minutos aproximadamente- (Kurten - Carchano, 2007), produciendo excesos de escorrentías superficiales en los caudales acumulados. En el siguiente esquema se ha confeccionado un perfil donde se observa un corte transversal de la litología del abanico aluvial.

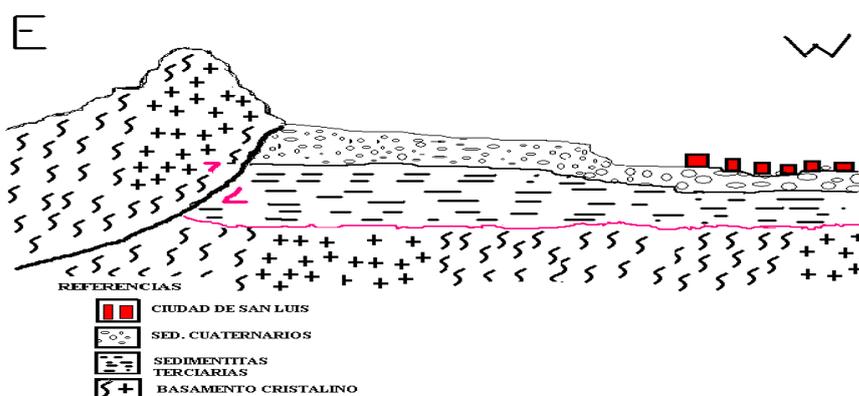


Figura N° 1 - Perfil E-O del sustrato donde asienta la Ciudad de San Luis. (Merlo y Ortiz, 2012).



Esta condición sumada a otras características como: el suelo y su cohesión, los afloramientos de basamento cristalino, terciario y cuaternario que tienen diferentes tipos de composición y consolidación, los cantos rodados de la superficie -asociados a la depositación de la carga de los cursos temporarios- y la modificación antrópica del terreno; generan junto con el agua un torrente acuoso de alta densidad sedimentaria, el cual transcurre hasta la parte distal de la planicie aluvial donde disminuye su velocidad, deposita y, por no tener tanta pendiente, se detiene.

Estos rasgos de erosión, transporte y depositación son característicos de los sistemas de abanicos aluviales.

Los abanicos aluviales generan depósitos de detritos clásticos, que vistos en planta presentan formas característicamente cónicas. Este tipo de sistemas se desarrollan en las zonas aledañas a las porciones que delimitan los escarpes de altos morfológicos, en donde el aporte de sedimentos es mucho mayor y las corrientes son confinadas a sectores angostos que se tienen dentro de una cuenca adyacente (Einsele, 1992).

Son particularmente comunes en regiones áridas o semiáridas en donde la vegetación es escasa y el transporte de sedimentos ocurre esporádicamente pero con gran violencia durante las tormentas.

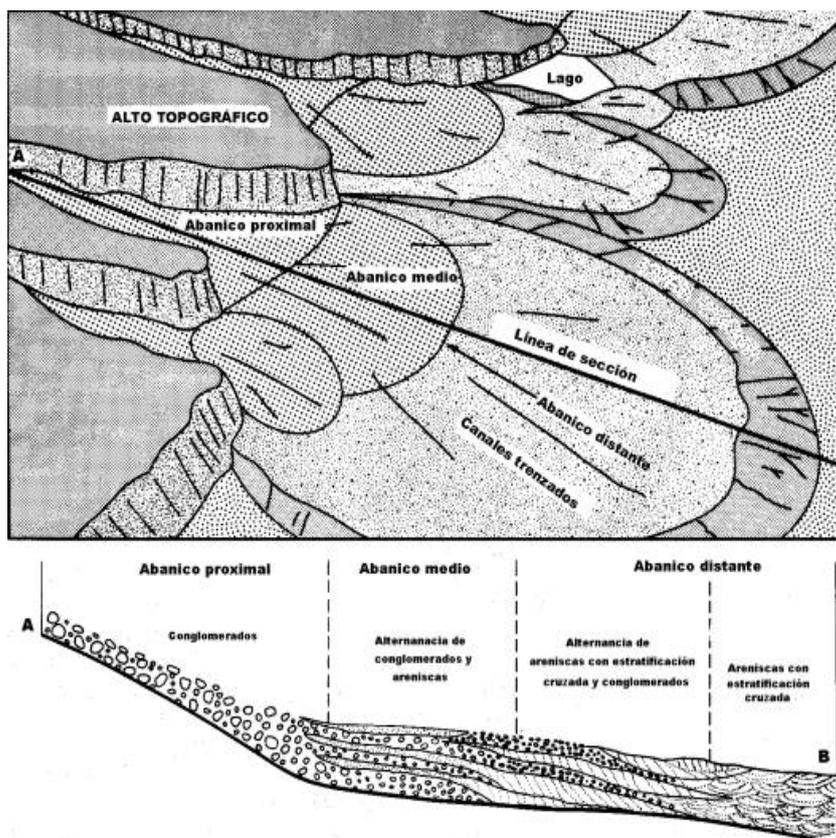


Figura N° 2 - Variación granulométrica general de los sedimentos a lo largo de una sección longitudinal dentro de un abanico aluvial. Einsele, 1992.

Se debe tener en cuenta el tipo de suelo por sector, su infiltración y su punto de saturación (Morla, 2010), ya que las tormentas descargan en periodos cortos, generando aluviones que se



agravan por la alta pendiente en la zona proximal del abanico aluvial (en el sector de pie de monte), y depositan su carga en la planicie aluvial sector más distal del abanico aluvial.

En las observaciones realizadas en la zona de estudio pudimos delimitar distintas subcuencas a través de diferentes rasgos morfológicos:

- Sub Cuenca I: corresponde a la zona proximal del abanico aluvial, ubicado en el pie de monte de la Sierra de San Luis. Los límites establecidos son: E y NE Sierra de San Luis, N Ciudad de la Punta y al SW con la Ruta Nacional 147.
- Sub Cuenca II: su ubicación corresponde a la zona media y media distal del abanico aluvial. Los límites establecidos son: NE Ruta Nacional 147, NW con los barrios Aeropuerto, Eva Perón 4 y 5, Santa Rita, Las Américas y al SW con la Avenida España.
- Sub Cuenca III: su ubicación corresponde a la zona distal, media-distal del abanico aluvial. Los límites establecidos son: N con la Avenida España, NE-SW con el río San Luis y W con el Barrio 1º de Mayo y el Parque Industrial Norte.
- Sub Cuenca IV: NE-SW con el río San Luis, S con la terminación de las Sierras Pampeanas, E con la Sierra de San Luis y W con el Parque Industrial Sur.

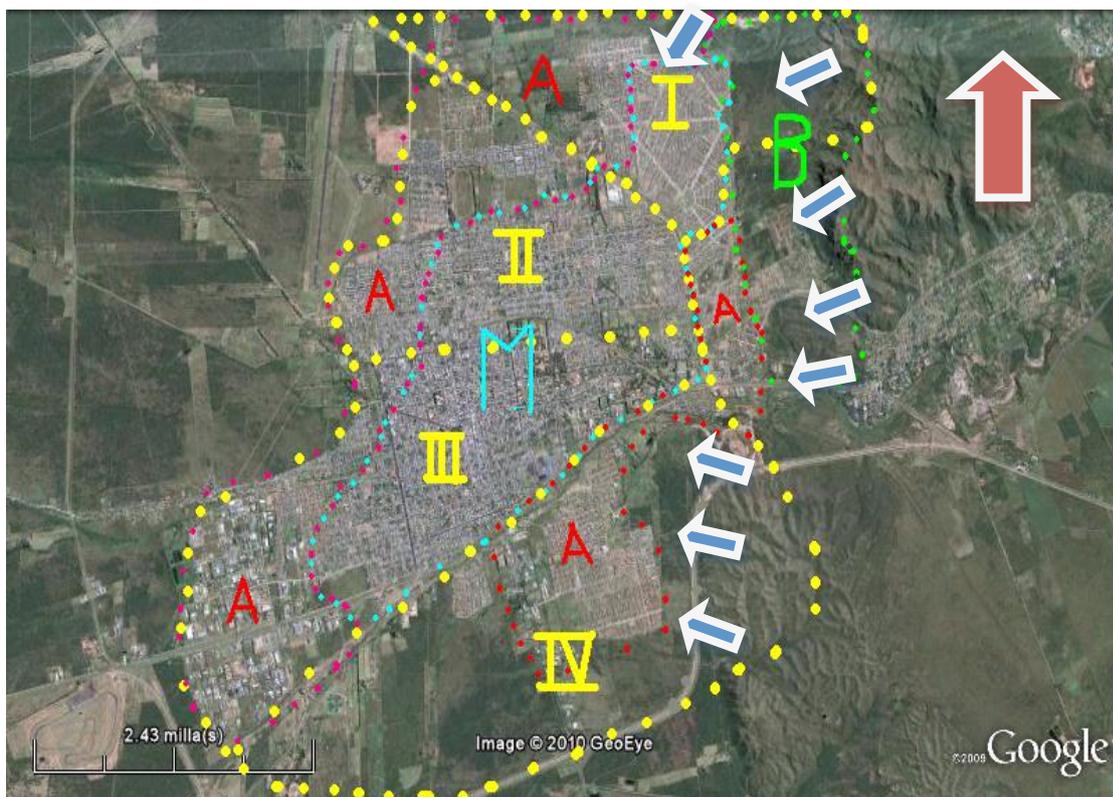


Figura Nº 3 - Delimitación de Sub Cuencas en la Ciudad de San Luis y determinación de Zonas de Vulnerabilidad.
Fuente: Google Earth Modificado, 2012.

Referencias: A: Zona de Alta Vulnerabilidad

M: Zona de Media Vulnerabilidad

B: Zona de Baja

Vulnerabilidad I - II - III - IV: Diferentes Subcuencas

Líneas de Dirección de Flujo



Las obras de infraestructura realizadas son pequeñas, tal es el caso del canal colector del sector NO (paralelo a la ruta Provincial N° 3), donde además de esto se le suma el desborde y obstrucción de los causes y la posterior salida de las aguas a la vía pública, generando destrozos y pánico a la población.

Estas canalizaciones dentro de la ciudad no actúan de forma correcta frente al sometimiento de las lluvias, provocando graves daños, como por ejemplo los que se observan al Sur del aeropuerto de la ciudad de San Luis, al final de la calle Aristóbulo del Valle y en algunos tramos de la proyección del Canal de Máximas Crecida emplazado en la margen Norte de la Ruta Provincial N° 147.

Entre los obstáculos más importantes encontramos la realización de asentamientos urbanizados y medianeras de material que actúan como barreras naturales de los flujos en la zona de pie de monte (sector de carga), en la zona distal o de descarga de los torrentes acuosos tenemos cañerías de servicios básicos para la población que atraviesan los canales de circulación secundaria del agua.

Al considerar a la vulnerabilidad como el nivel que ésta tiene y que es directamente proporcional a la exposición social, y a la amenaza e inversamente proporcional a la resistencia a la misma (Ferrando, F., 1995.).

Bajo esta concepción queda claro que para reducir la vulnerabilidad se puede actuar reduciendo el nivel de exposición, es decir, evitando dentro de lo posible las localizaciones en sectores que son frecuentes y potencialmente afectables por una amenaza dada.

Con esta lógica se delimitó zonas de diferentes niveles, clasificándolas en Baja, Media y Alta Vulnerabilidad.

Zona de Baja Vulnerabilidad

Corresponde al sector proximal del abanico aluvial, delimitadas en la Fig. N° 3 con líneas de puntos de color verde. En esta zona se observó sedimentitas terciarias, bien consolidadas, de baja permeabilidad (limos y arcillas); sobre estas yacen depósitos friables cuaternarios compuestos por conglomerados oligomícticos.



Foto N° 4: Sedimentos Cuaternarios sobre Sedimentitas Terciarias. (Merlo y Ortiz, 2012)



La vegetación en la zona de piedemonte se encuentra en gran medida deforestada y degradada por los incendios y la falta de enraizamiento (Foto N° 5 y Foto N° 6).



Zonas Deforestadas y Degradadas por Incendios. (Merlo y Ortiz, 2012).

Las principales barreras antrópicas en la zona de pie de monte son la construcción de aglomerados urbanos (casas, escuelas, hospitales, etc.)- Foto N° 7 - y obras civiles de cierres perimetrales construidos de material - Foto N° 8 -.



Foto N° 7. Barreras Antrópicas Cercanas al Piedemonte. (Merlo y Ortiz, 2012).



Foto N° 8. Barreras Antrópicas Cercanas al Piedemonte. (Merlo y Ortiz, 2012).

Esta zona es considerada de baja vulnerabilidad porque los arrollamientos que se producen durante una precipitación repentina son ligeros y sólo generan encauzamientos de calles producto de la búsqueda del agua de sus cursos naturales (Barrio Residencial Los Quebrachos).

Zona de Media Vulnerabilidad

Corresponde al sector central del abanico aluvial comprendido mayormente por las Sub Cuenclas II y III; delimitados por líneas de puntos color celeste en la Fig. N° 3.

Los caudales que atraviesan el centro de la ciudad son importantes en cuanto a su magnitud. El escurrimiento superficial es medianamente rápido produciendo anegamiento en algunos cruces de calles principales, dificultando la circulación de los vehículos y peatones.

También se observó la saturación del sistema de alcantarillado de la Ciudad de San Luis

Zonas Alta Vulnerabilidad

Corresponde al sector distal del abanico aluvial coincidente con los barrios de las zonas periféricas de la Ciudad de San Luis; delimitado en la figura N° 3 por líneas de puntos color rojo.

En los sectores distales observamos la falta de planificación urbana, con la generación de asentamientos precarios que son los que sufren las consecuencias directas de los torrentes acuosos.

Otro factor a simple vista, es la basura que es depositada por las personas que conviven en estos sectores marginales y que luego es arrasada por los aluviones repentinos - Foto N°9 y 10.



Foto N°9 y N°10: Acumulación de Desechos Arrojadados por Individuos en Canales Principales. (Merlo y Ortiz, 2012).

En cuanto a las construcciones se observa procesos de asentamiento espontáneo en tierras fiscales o municipales, las que en su mayoría corresponden a sectores expuestos a los mecanismos aluviales. Es común observar casas o construcciones dentro de los cauces fluviales - Foto N° 11-.



Foto 11. Construcciones Precarias Atravesando Zonas de Canales Primarios. (Merlo y Ortiz, 2012).

Es posible observar la creación de suelos retrabajados con fines de especulación y lucro, en zonas de concentración natural del escurrimiento y/o evacuación de las aguas de lluvia, provocando riesgos evidentes para quienes adquieren propiedades en dicho sector. Tal es el caso de la construcción del barrio de la Mutual de la Vivienda de la Universidad Nacional de San Luis, ubicado en el sector NO de la Ciudad de San Luis - Foto N° 12 y 13-.



Foto N° 12 y Foto N° 13: Intersección Ruta Nacional N° 147 y Calle Justo Daract. (Merlo y Ortiz, 2012).

(Morla, 2010), en el trabajo de Cálculo de Caudales Máximos para Drenajes Pluviales para un Sector de la Ciudad de San Luis, afirma que para este sector se registran los caudales de máxima crecida aluvional.

En muchos casos se privilegia la solución de problemas sociales, por los gobiernos de turno sin medir las consecuencias a posteriori, construyendo obras de infraestructura básica en sectores inestables o en lugares donde se han ocurrido aluvionamiento. Esto puede observarse en las cañerías que atraviesa el colector principal de la Ruta Nacional N° 147- Foto N° 20-.



Foto N° 13. Caños de Agua Potable Atravesando Canales Principales. (Merlo y Ortiz, 2012).

Según el testimonio de residentes del Barrio Eva Perón las consecuencias secundarias de esta Zona Alta Vulnerabilidad (indicada en la Figura N° 9), son: enfermedades del tracto respiratorias a menores y ancianos, inundación de las viviendas y exposición permanente a la humedad - Foto N° 13.



Foto N° 13. Zonas de Estancamiento de Agua en Sectores de Vulnerabilidad Social. (Merlo y Ortiz, 2010).

Otra zona afectada por el fenómeno aluvional es el parque industrial norte y sur, que cuando se presentan eventos hidrológicos de envergadura se generan problemas de anegamientos, lo que provoca una problemática relevante para la producción industrial de este sector.

CONCLUSIONES

Los procesos naturales tienen un camino por el cual transitan y en el cual van desahogando su energía contenida. Por lo tanto este camino debe respetarse y mantenerse despejado. Su ocupación, obstaculización y modificación provoca consecuencias previsibles y sufridas por muchos.

La intervención del hombre incrementa la frecuencia y energía de las amenazas del fenómeno, ya que rompe el equilibrio en el medio ambiente.

Por ejemplo existen canalizaciones dentro de la ciudad que no actúan de forma correcta frente al sometimiento hidrológico, provocando graves daños como los que se observaron en las diferentes subcuencas.

Además existen asentamientos urbanizados y no urbanizados en zonas del alta vulnerabilidad, que son afectados por el anegamiento del agua de lluvia producto: de los desechos humanos que se acumulan, las construcciones en sectores no autorizados que obstaculizan los canales de escurrimientos principales, los desniveles de los terrenos, la deforestación y degradación de la vegetación y la baja permeabilidad de los suelos, son factores que en su conjunto provocan consecuencias primarias y secundarias a la sociedad. Cabe destacar el excesivo humedecimiento de los suelos y el estancamiento de agua en zonas no urbanizadas de bajos recursos económicos, generando consecuencias secundarias que afectan la salud de las personas principalmente de los más vulnerables (niños y ancianos).



El estudio de la morfología y dinámica de los abanicos aluviales en la zona, nos brinda una aproximación, a un conocimiento adecuado acerca de la acción de los fenómenos de aluvionamiento en la ciudad, definiendo zonas de mayor o menor escurrimiento superficial.

Por lo tanto teniendo en cuenta las condiciones geológicas y las modificaciones antrópicas se pudo definir zonas de alta, media y baja vulnerabilidad para la Ciudad de San Luis.

La falta de planificación urbana de los estados y las malas decisiones políticas generan a la sociedad la existencia de barrios no urbanizados y de bajos recursos económicos, que además de ser marginados de la sociedad se encuentran imposibilitados de tomar medidas mínimas que signifiquen disminuir el riesgo provocado por los aluviones.

Finalizando, para disminuir el riesgo en la ciudad se debería actuar en una primera instancia tomando conciencia sobre la importancia de este fenómeno y las consecuencias futuras del mismo, en segundo lugar los representantes políticos deben reflexionar y tomar medidas inmediatas que tiendan a disminuir la vulnerabilidad de la sociedad.

Por último se debe realizar una verdadera planificación y estudio de la cuenca hídrica y el abanico aluvial, con el fin de aplicar medidas a corto, mediano y largo plazo, tendientes a incrementar la retención, canalización y la infiltración de la escorrentía superficial; a regular los escurrimientos y velocidad de los tiempos de respuesta de las zonas afectadas y también se requiere que se delimiten claramente los diferentes niveles de lechos fluviales y llanuras de inundación y que se los deje libre de construcciones que afecten su comportamiento hidrológico.

REFERENCIA

- Hungr O., 2001. Clasificación de Flujos 7, 221-238
- USGS, 2010. Página del Servicio Geológico de los Estados Unidos.
- Kurten - Carchano, 2007. Estudio y Proyecto de Sistematización de Cuencas Hídricas de la Ciudad de San Luis.
- Einsele, 1992. Caracterización de los Abanicos Aluviales, 628 pp.
- Morla, Pedro, 2010. Cálculo de Caudales Máximos para Drenajes Pluviales para un Sector de la Ciudad de San Luis.
- Ferrando, Francisco, 1995. Definición de la Metodología para Determinar la Vulnerabilidad de los Asentamientos Humanos Frente a Desastres. Informe Técnico Proyecto PNUD CHI/92/009/A/13/99. ONEMI. 1995. 38 pág.



Estimación de Coeficientes de Retardo y Dispersividad Longitudinal a Partir de Curvas de Breakthrough

J. J. Palmerio¹, A. G. Del Carmen¹

¹Programa Nacional de Gestión de Residuos Radiactivos, Departamento de Operación de Instalaciones, Sección Gestión Ambiental, Centro Atómico Ezeiza, Comisión Nacional de Energía Atómica.

jpalmario@cae.cnea.gov.ar

dcarmen@cae.cnea.gov.ar

RESUMEN

Determinar con calidad suficiente los parámetros que rigen el transporte de solutos a través de materiales porosos es un tema de importancia en seguridad ambiental. En el marco de evaluar la seguridad de instalaciones se ha diseñado un método para hacer determinaciones simultáneas de los coeficientes de retardo (R) y dispersividad longitudinal vertical (D) en probetas de suelo utilizando radiotrazadores. La importancia de estos parámetros es que definen el tiempo en el que se produce el máximo de liberación (retardo) y el ancho del pulso (dispersividad). Básicamente el método consiste en un ajuste por cuadrados mínimos de datos experimentales de una curva de breakthrough para un escalón de concentración.

En este trabajo se evaluó la robustez y rango de aplicación del método. De esta manera fue posible tomar decisiones sobre la concentración de actividad así como sobre la cantidad de muestras que se tomarán en el experimento real.

El algoritmo se probó con sets de datos sintéticos. Estos consistieron en puntos de una porción del plano R-D con $0 \leq R \leq 4000$ y $0[m] \leq D \leq 600[m]$ la cual numéricamente se discretizó en una matriz cuadrada de 160000 elementos. Para cada elemento de la matriz se construyó la curva breakthrough ideal a las cuales se les añadió diferentes cantidades de ruido aleatorio. Estas se ajustaron por cuadrados mínimos y con los datos obtenidos se elaboraron dos matrices de errores relativos, una con los errores de R y otra con los errores de D para cada set de datos. Se observó que la cantidad de reconstrucciones exitosas de R y D mejora a medida que el número de muestras crece y la relación señal ruido aumenta.

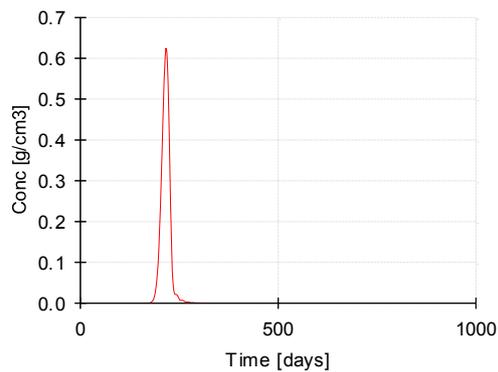
INTRODUCCIÓN

Cuando se evalúa la migración de contaminantes es un tema central poder describir adecuadamente el transporte de los mismos. El enfoque más tradicional trata de englobar en parámetros medibles la diversidad de fenómenos que afectan a este. En particular en este trabajo son de interés el coeficiente de partición (Kd) y la dispersividad longitudinal vertical (D). El Kd es un parámetro que indica la relación entre las fracciones de contaminante que se mantiene en solución y aquella que ha sido retenida por diferentes fenómenos en el suelo [1]. De esta manera es un parámetro global, que sintetiza la retención como consecuencia de diversos factores. Desde el punto de vista de su determinación experimental se busca que el experimento refleje las condiciones en las que se realizará el transporte.

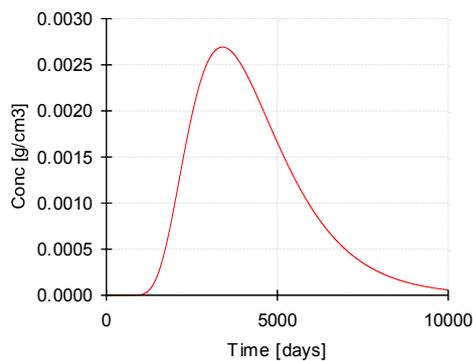


La dispersividad longitudinal vertical (D) es un parámetro que engloba diferentes procesos relacionados con la dispersión [2]. En el transporte controla justamente este tipo de comportamiento. Hay autores que llaman a este parámetro coeficiente aparente de difusión o coeficiente de difusión-dispersión [2]. Al igual que ocurre con el K_d , para su determinación experimental se buscan condiciones similares a aquellas en las que ocurrirá el transporte.

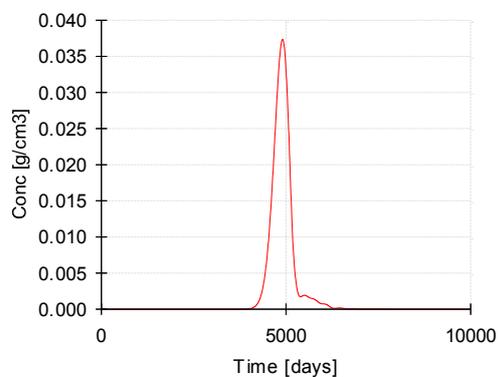
Para mostrar la importancia de estos parámetros, se muestran a continuación tres gráficos. En estos se puede observar la curva de concentración en función del tiempo (respuesta) para mismos pulsos de concentración (excitación), diferentes medios porosos (diferentes valores de K_d) y diferentes condiciones de D .



a) $K_d=0$ y $D=0$.



b) $K_d>0$ y $D=0$.



c) $K_d>0$ y $D>0$.

Figuras 1.



En los gráficos puede verse como el K_d , a través del coeficiente de retardo, determina la velocidad del movimiento del pico de concentración (Figuras 1a y 1b). En cambio la dispersividad longitudinal controla la forma del pico; dispersividades mayores implican curvas de concentración en donde la concentración máxima es menor (Figuras 1b y 1c). Pero estas curvas tienen una cola donde se observa que una cantidad de contaminante es liberada antes de que se alcance el máximo de concentración.

Actualmente hay varias técnicas para determinar experimentalmente estos parámetros [1] como por ejemplo, batch [3], in-situ [2] u otros [4]. En este trabajo se eligió utilizar la metodología in-situ. Como se describe en [2] los métodos basados en cuadrados mínimos son relativamente fáciles de utilizar y dan resultados precisos. Para números de Péclet grandes (20 o más) el procedimiento es sencillo. Pero a medida que el número de Péclet disminuye los modelos generales para curvas de breakthrough divergen. Esto agrega la dificultad de elegir adecuadamente el modelo que mejor se ajusta a la realidad experimental. Otra ventaja de estos métodos es que permite la determinación simultánea de K_d y D a partir de una curva de breakthrough experimental.

Como parte de procesos de mejora continua, se busca ampliar y mejorar el catálogo de datos de K_d y D del PNGRR. En este contexto se ha desarrollado un método para medir estos parámetros en muestras de suelo. Este trabajo es una prueba numérica sobre el método. Se busca estimar los límites de aplicación y la calidad de los resultados que podrían obtenerse.

Desarrollo experimental

Planteo del Problema

El esquema general de aplicación del método consiste en obtener experimentalmente la curva de concentración relativa y luego usar mínimos cuadrados para determinar los valores de R y D . En la figura 2 se muestran las partes generales del método.

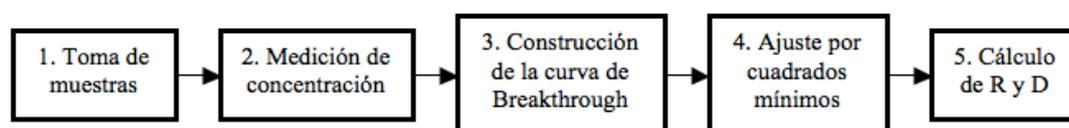


Figura 2.

El método comienza con la toma de muestras. Aquí se busca tomar muestras que resultan de inyectar un escalón de concentración en una probeta de suelo⁷. A continuación se muestra un esquema del dispositivo que se utilizará para este fin.

⁷ La extracción de la probeta de suelo, se realizará de manera que sea disturbada lo menos posible.

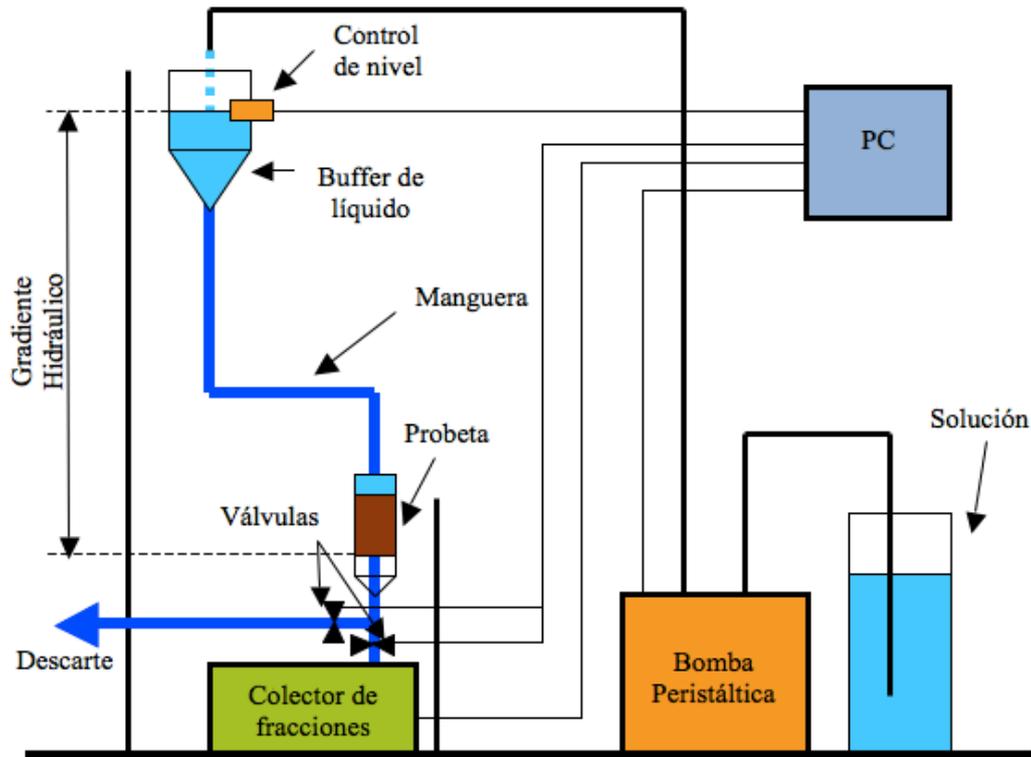


Figura 3.

El sistema se diseñó de forma de asegurar un gradiente hidráulico constante sobre la probeta de suelo (esto se consigue con un control de nivel y una bomba de bajo caudal). Con estas condiciones se busca que la curva de breakthrough que se obtenga sea razonablemente cercana a alguna de las soluciones propuestas en [2]. El dispositivo es controlado por PC, se utiliza un colector de fracciones para tomar muestras del proceso y electroválvulas para controlar el descarte de solución.

La cantidad de muestras que se toman durante el proceso, sin duda, influye en la calidad de los resultados que se obtengan. Por esta razón conocer esta dependencia es importante, principalmente para dimensionar las experiencias reales. Por otro lado, la forma en la que se miden las muestras influye también en la calidad de los resultados de R y D. La concentración puede medirse por diferentes técnicas de análisis. Estas forman parte de la química analítica cuantitativa o en el caso de analitos radiactivos son útiles técnicas radioquímicas como espectrometría gamma, centelleo líquido, etc. Aunque cada técnica de medición depende de diferentes fenómenos físicos para conseguir la señal que constituye la medición, es cierto que para cada una de ellas es posible definir una relación señal ruido. Esto significa que es posible estudiar la señal de blanco y la señal de diferentes cantidades de analito en un equipo dado para una técnica de medición determinada. De estas dos señales es posible definir la relación



señal ruido⁸ (SNR). A continuación se muestra una definición de la SNR la cual es bastante útil para caracterizar técnicas de medición.

$$SNR = \frac{\mu}{\sigma}$$

en donde μ es la media de la señal para una cantidad dada de analito y σ es la dispersión de la señal de blanco. Más adelante esto será útil para tomar decisiones sobre la concentración de la solución a inyectar en la probeta de suelo.

En cuanto a la curva que se ajusta esta responde a uno de los modelos propuesto en [2]. Esta elección no es excluyente, con los datos experimentales se podrá elegir mejor el modelo de curva de breakthrough que mejor se ajuste.

$$C_e = \frac{1}{2} \operatorname{erfc} \left[\frac{R.L - v.t}{2(D.R.t)^{1/2}} \right] + \frac{1}{2} \exp \left(\frac{v.L}{D} \right) \operatorname{erfc} \left[\frac{R.L + v.t}{2(D.R.t)^{1/2}} \right]$$

En la ecuación anterior R es el coeficiente de retardo que involucra al Kd, L es la longitud vertical del medio poroso, v es la velocidad del agua a través del medio poroso, D es la dispersividad longitudinal y t es el tiempo.

$$R = 1 + \frac{Kd \cdot \rho}{\theta}$$

donde puede verse como el coeficiente de retardo depende del Kd, de la densidad de la muestra ρ y de su porosidad θ . Esta expresión permite recuperar el valor de Kd una vez hallado R.

Es necesario, para aplicar el método, conocer también la conductividad hidráulica, esta define la velocidad del agua en el medio poroso. De esta manera la curva de breakthrough queda solo dependiendo del tiempo R y D. Para evaluar la robustez se eligió probar el ajuste para diferentes cantidades de muestras y relaciones SNR. Se busca de esta manera tener información a priori que permita elegir la cantidad de analito a utilizar y la cantidad de muestras a tomar para construir la curva experimental de breakthrough. En la figura 4 puede observarse un esquema que representa el procesamiento elegido para evaluar el método.

⁸ Signal to Noise Ratio.

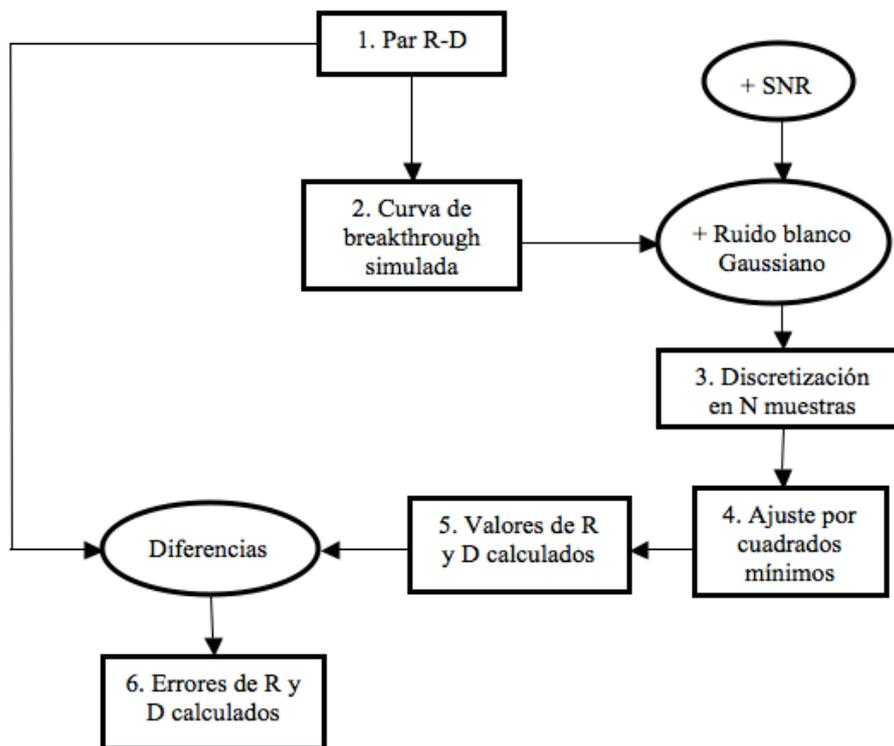


Figura 4.

El esquema utilizado para generar los sets de datos y de resultados es el siguiente: Se tomaron pares R-D de la porción del plano R-D que se está explorando y se generaron curvas de breakthrough que luego fueron modificadas añadiéndoles ruido y discretizándolas en N muestras. Con estos sets se construyen las matrices de errores relativos (para R y D).

Análisis de Datos

La porción del plano R-D explorada corresponde a los rangos $0 \leq R \leq 4000$ y $0[m] \leq D \leq 600[m]$. La discretización se hizo en una matriz cuadrada de 160000 elementos. Toda la programación y el cálculo asociados a este trabajo se realizaron sobre MatLab⁹. La discretización de la curva de breakthrough se hizo para valores de N tomados de 10 en 10 hasta 100 incluyendo también el 5. En cuanto al ruido gaussiano, se tomaron valores de SNR de 10 en 10 hasta 100 incluyendo también el 1.

La cantidad de datos que se obtuvieron del procesamiento es grande, dos matrices de errores por cada set de datos, eso es igual a 242 matrices cuadradas de 160000 elementos cada una.

⁹ Versión 2009b.



RESULTADOS

A continuación se muestran dos figuras en donde pueden observarse los errores relativos (en valor absoluto) para R y D (30 muestras y SNR de 40).

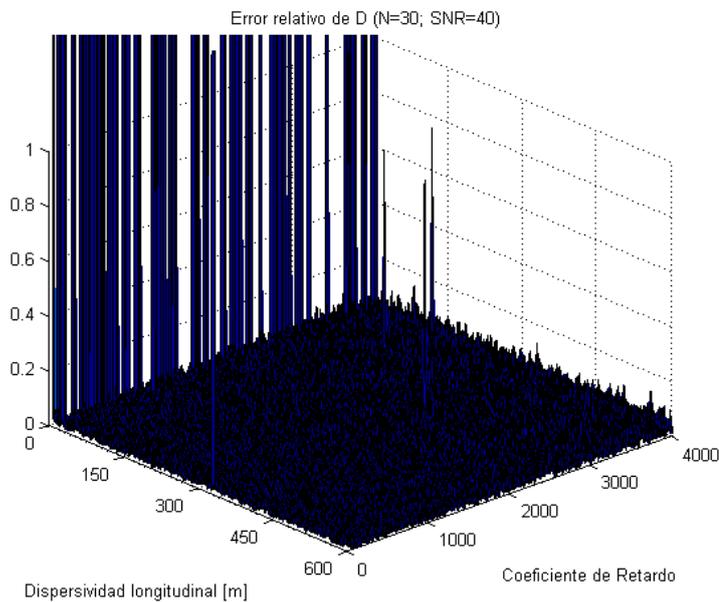


Figura 5.

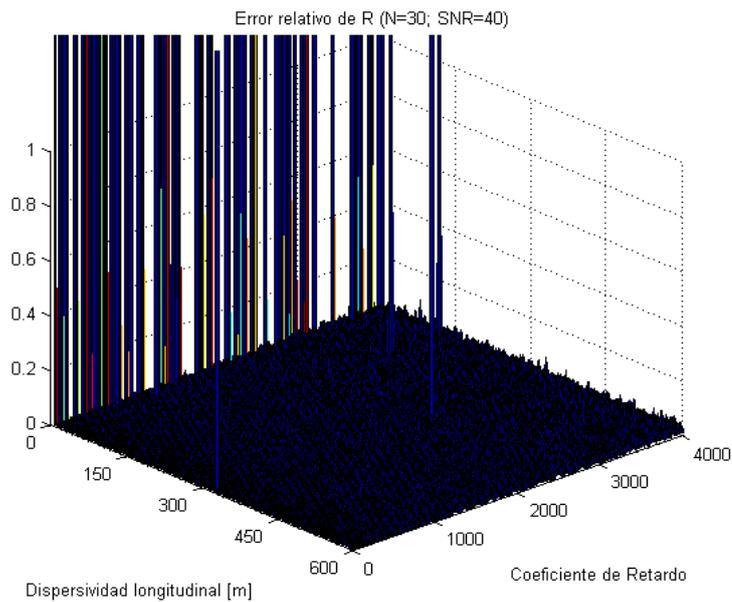


Figura 6.

Para estudiar como el método responde a las condiciones simuladas, se eligió como indicador a la cantidad relativa de puntos del plano R-D para los que el error relativo ha sido menor o igual al X%. En las figuras 7 y 8 se muestran estos resultados para errores de un 2% y un 20%.

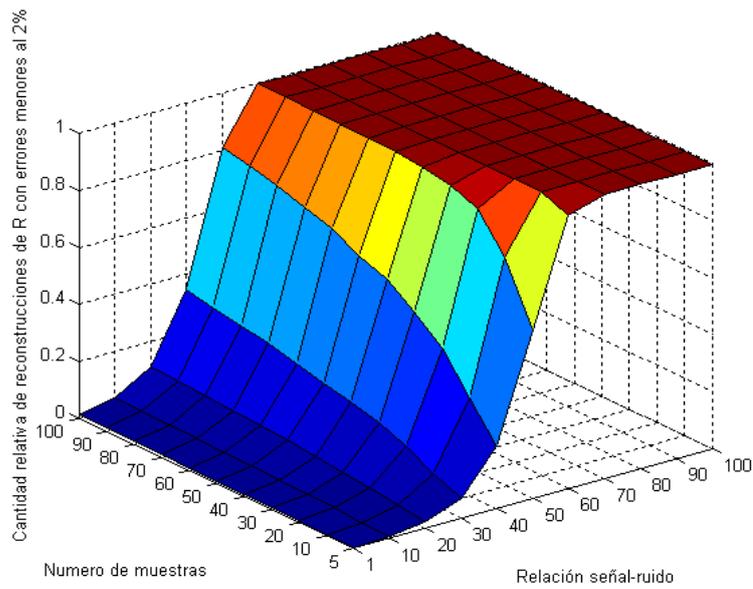


Figura 7.

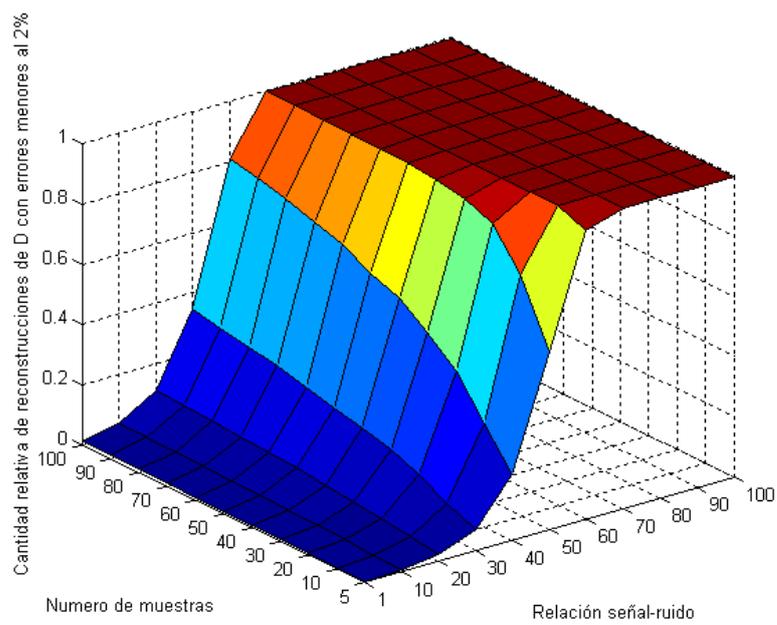


Figura 8.

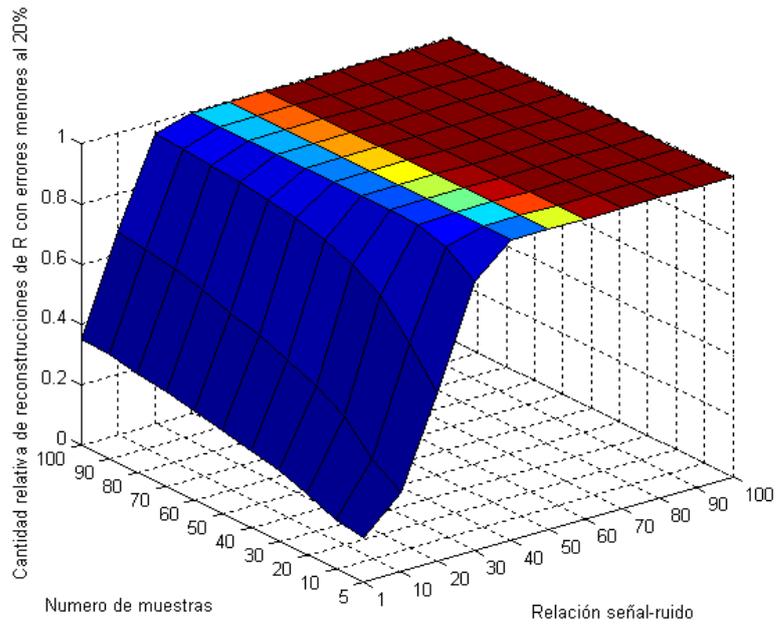


Figura 9.

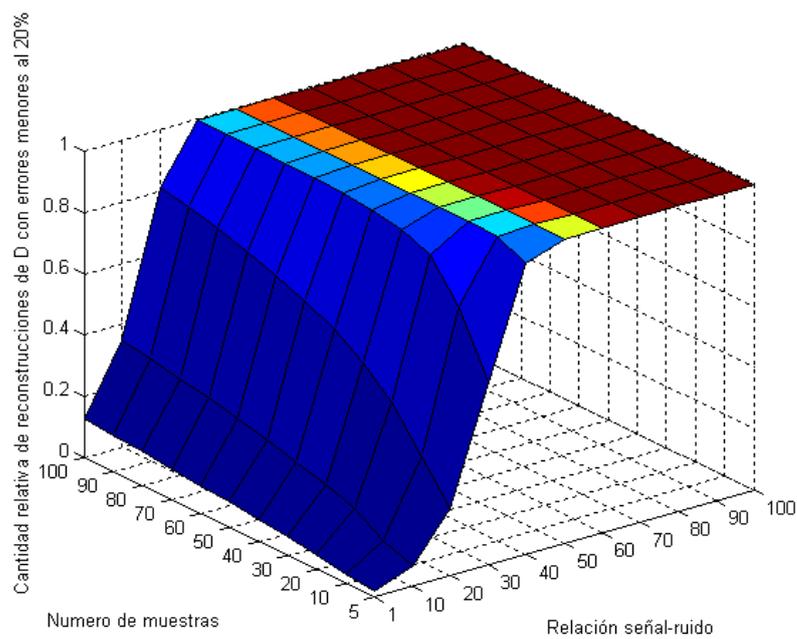


Figura 10.

En las figuras 5 y 6 pueden observarse varios puntos del plano R-D con errores grandes. Por esta razón se decidió ensayar un tratamiento de los datos para analizar si estos problemas estaban asociados a la minimización. Para esto se volvieron a correr los pares R-D problemáticos pero realizando las minimizaciones acotando los valores iniciales de R y D. En la figura 11 pueden observarse los resultados para un número de muestras de 30 y una SNR de 40.

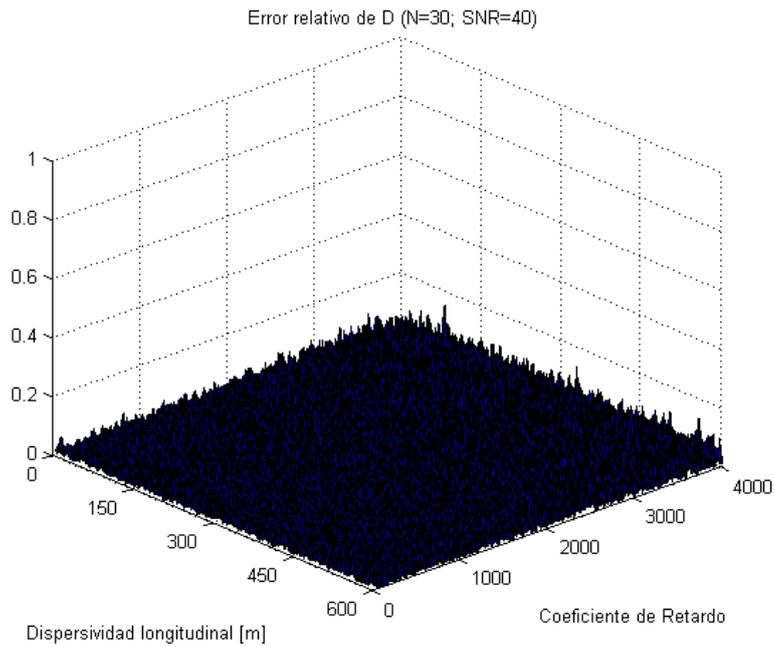


Figura 11.

Si se comparan los resultados mostrados en las figuras 5 y 11 puede verse que la minimización es exitosa para todos los puntos del plano R-D. Esto permite estudiar el error relativo medio y su dispersión en función de N y SNR.

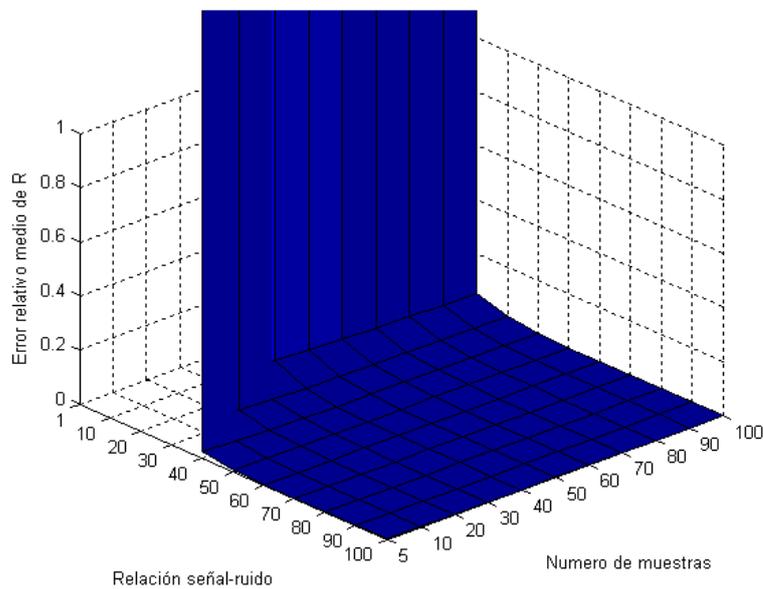


Figura 12.

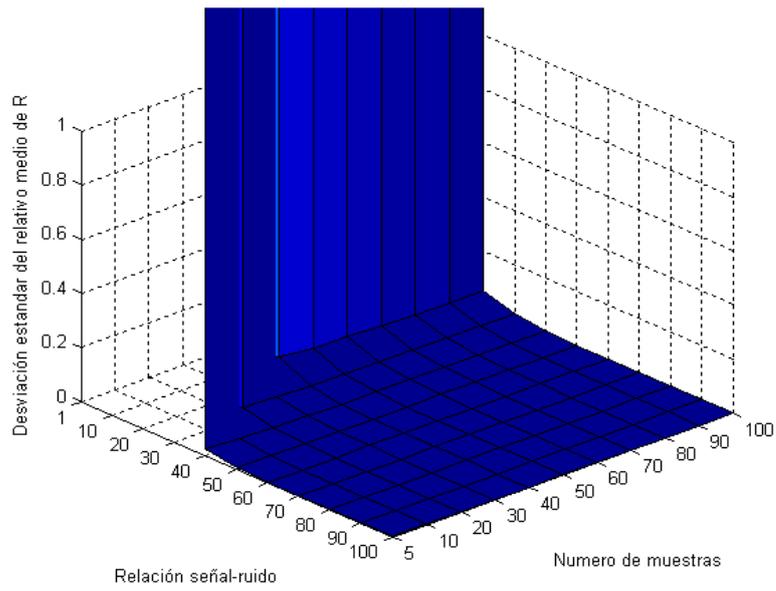


Figura 13.

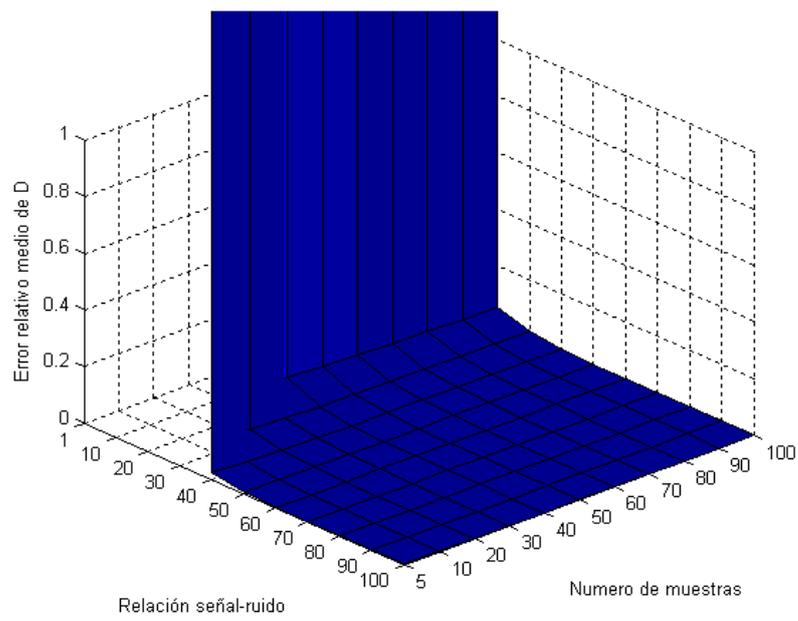


Figura 14.

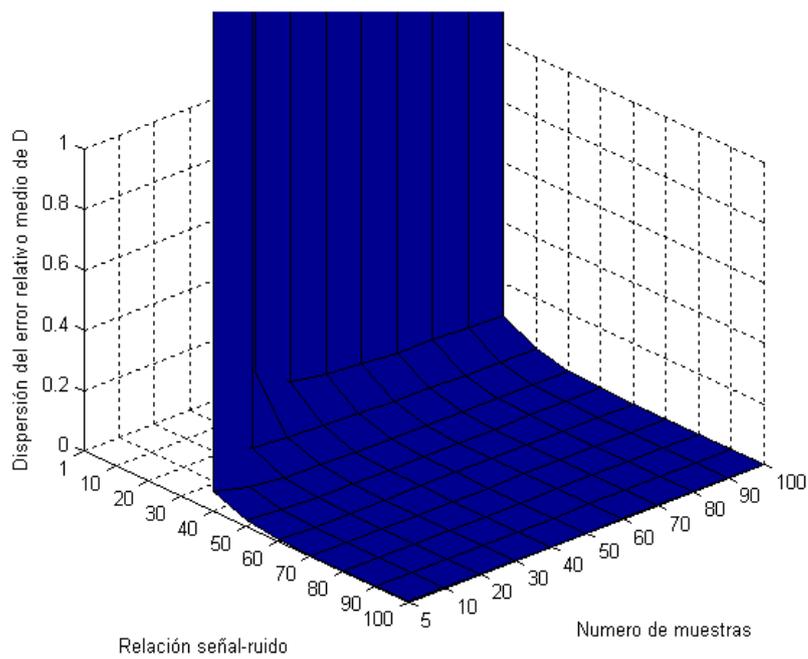


Figura 15.

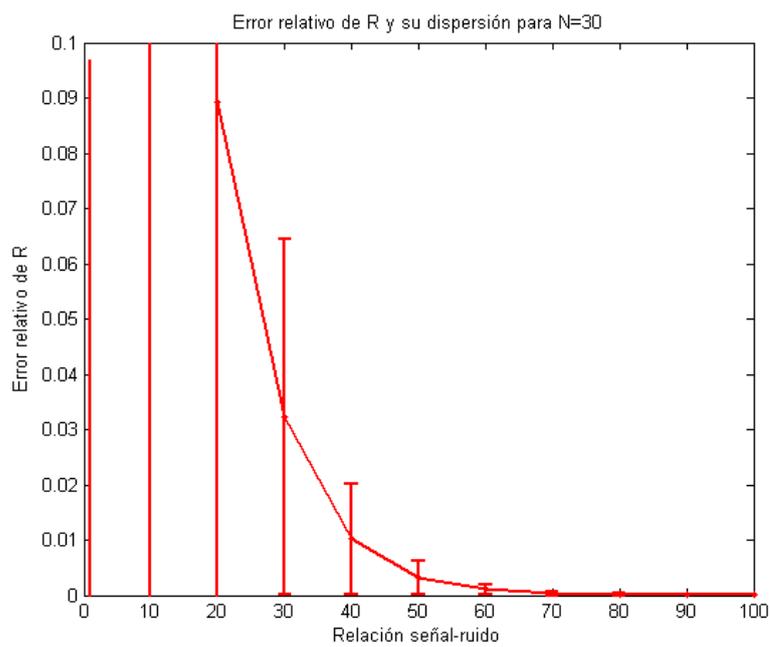


Figura 16.

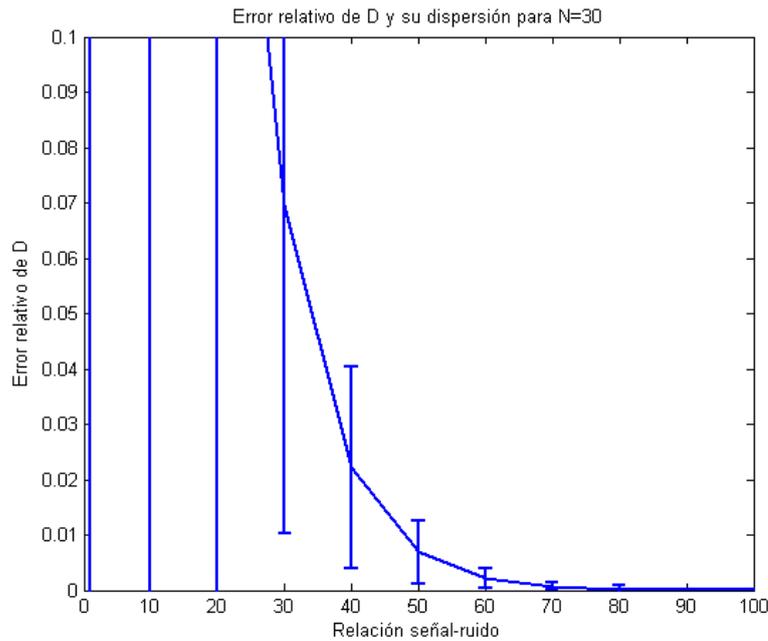


Figura 17.

DISCUSIÓN

En las figuras 5 y 6 se pueden observar varios puntos del plano R-D que tienen errores relativos muy grandes. Estos puntos pueden agruparse en dos grupos. El primero es el de los puntos que están ubicados en la línea de dispersividad longitudinal cercana a cero. Estos valores pueden explicarse a través de la ecuación que describe la curva de breakthrough. En esta ecuación las funciones error complementarias (erfc) están definidas y acotadas para todo el dominio. La división por números cercanos a cero es interpretada como infinito por MatLab y este devuelve el valor límite correspondiente de la función erfc. En cambio para la función exponencial solo el parámetro D está incluido en el argumento (como divisor). Esta función también está definida para todo el dominio pero no está acotada. Esto hace que para valores de D cercanos a cero MatLab interprete el valor del argumento como infinito y en consecuencia el valor de la exponencial sea también infinito. Esto dificulta la minimización para valores de D cercanos a cero. El segundo grupo está formado por puntos del plano R-D que tienen errores grandes pero que no están sobre la línea de D cercanos a cero. En estos casos la minimización no ha convergido para el número de iteraciones máximo utilizado. Esta situación se puede resolver extendiendo el número de iteraciones y comenzando la minimización con valores de R y D más acotados.

Los problemas observados en las figuras 5 y 6 y discutidos en el párrafo anterior, se debieron a problemas en la minimización. Cambiando las condiciones iniciales de la minimización fue posible resolver esta situación y estudiar el error relativo y su dispersión.

En las figuras 7, 8, 9 y 10 puede observarse que el parámetro más importante a tener en cuenta en el experimento es la SNR. En estas figuras puede observarse también que es posible elegir las condiciones experimentales conociendo a priori su influencia en los resultados que



se obtendrán. Esto también permite acotar el error relativo para las condiciones experimentales elegidas.

La evolución del error relativo y su dispersión es diferente entre R y D, como se muestra en las figuras 16 y 17 (estas figuras corresponden a un valor fijo de N de 30). En estas se observa como el error de R y su dispersión se estabilizan para SNR menores que para D. Si se observan ambas figuras puede verse que para un SNR de 40 el error relativo de R está entre 0% y 2%, mientras que el de D se encuentra entre un 0.3% y un 4%. De estas figura también se deduce que se puede conocer a priori el error relativo de R y D en las condiciones de medición.

Finalmente podemos decir que se puede trabajar de dos formas. Una es acotando los errores relativos de R y D, esto sería para el caso extremo en que la minimización se realiza a partir de un par R-D tomado al azar de un rango licito de estos parámetros. La otra forma es posible cuando el rango de R y D es conocido y está un poco más acotado (podrían ser datos obtenidos de bibliografía o de un estudio previo por otro método). En estas condiciones se puede conocer a priori el error relativo y su dispersión. En las figuras 12, 13, 14 y 15 se observa que con N=20 ya es posible obtener buenos resultados y para N mayores a 30 las diferencias en los resultados son pequeñas.

CONCLUSIONES

En este trabajo se evaluó la robustez y rango de aplicación del método. De los resultados obtenidos y de la porción del plano R-D explorada puede verse que el rango de aplicación es amplio. Conociendo de antemano la región del plano R-D donde es probable encontrar la solución es posible obtener datos eligiendo su calidad como consecuencia de las condiciones experimentales (error relativo y su dispersión). En el caso de que no se conozca la región del plano R-D en la que la solución esté, aún es posible obtener datos de la calidad deseada eligiendo también las condiciones experimentales, pero en este caso lo que se obtiene son resultados en donde el error relativo y su dispersión tienen cota superior.

Como se observó el parámetro de mayor peso en la calidad de los resultados es la SNR. De hecho trabajar con una SNR de 20 o menos conduce a errores relativos enormes. Esto es una limitación, se debe trabajar con técnicas de medición cuyas SNR sean de 30 o mayores. Para dimensionar una experiencia de laboratorio en donde se midan R y D, simplemente se elige una técnica de medición y con su SNR y la cantidad de muestras que se tomen se construye la curva de breakthrough. Como se vio anteriormente con esta curva es posible estimar R y D con calidad conocida a priori. Este trabajo provee una herramienta para estimar las concentraciones de solución necesarias en el experimento. En el caso de que se conozca la región del plano R-D en donde la solución esté también es posible estimar un mínimo y máximo de duración del experimento. Otra forma de estimar la duración del experimento es usar resultados obtenidos por método batch y dispersividad longitudinal estimada solo por su componente de difusión.



REFERENCIAS

- [1] United States Environmental Protection Agency, 1999. Understanding Variation in Partition Coefficient, K_d , Values Vol 1, EPA 402-R-99-004A.
- [2] M.Th. Van Genuchten, P.J. Wierenga, 1986. Solute Dispersion Coefficients and Retardation Factors, *Methods of Soil Analysis Part 1, Physical and Mineralogical Methods*, Second Edition. 1025-1054. Madison, Wisconsin, USA.
- [3] W.R. Roy, I.G. Krapac, S.F.J. Chou, R.A. Griffin, 1991. Batch-Type Procedures for Estimating Soil Adsorption of Chemicals, EPA/530-SW-87-006-F.
- [4] D.J. Kim, J.S. Kim, S.T. Yun, S.H. Lee, 2002. Determination of Longitudinal Dispersivity in an Unconfined Sandy Aquifer, *Hydrol. Process.* 16, 1955 - 1964.



Caracterización química e isotópica del agua en el sector norte de la Meseta de Somun Cura, Río Negro

C. A. Parica¹, C. Dapeña², M. B. Remesal³, F. M. Salani³

¹ 3iA-UNSAM-CONICET, Belgrano 3563, San Martín, Provincia de Buenos Aires, Argentina,

² INGEIS, (CONICET-UBA), Pabellón INGEIS, Buenos Aires, Argentina

³ UBA-CONICET, Pabellón II Ciudad Universitaria, Buenos Aires, Argentina

cparica@unsam.edu.ar

RESUMEN

La meseta de Somun Cura es una zona de carácter desértico donde el agua es un recurso escaso, cuyas principales manifestaciones se encuentran en vertientes, arroyos y lagunas localizadas en los “bajos sin salida que representan un rasgo geomorfológico distintivo. La zona estudiada comprende el margen norte de la meseta, en la provincia de Río Negro y la investigación se desarrolló en el marco del Proyecto de Voluntariado Universitario Energía Solar y Recursos Naturales en Chipauquil, Provincia de Río Negro. Las vertientes sobre los márgenes de la meseta cuentan con temperaturas que alcanzan los 45°C en forma permanente en cualquier época del año. El clima es templado-frío con precipitaciones escasas, de unos 200 mm anuales. La temperatura promedio para el mes de enero es de alrededor de 35 C mientras que el de julio es de 3 °C. Se han realizado muestreos en la zona de Chipauquil-Ea. El Rincón-Los Menucos, que complementan muestreos realizados sobre la zona Sur de la meseta en la localidad de Gan Gan (Chubut). Químicamente las aguas muestreadas, de mineralización media, clasifican como bicarbonatadas cálcicas a cloruradas sódicas y de acuerdo la clasificación de agua para riego que utiliza el índice de absorción de sodio son de riesgo medio a alto. Isotópicamente son aguas empobrecidas y tienen excesos de deuterio menores que 10‰, típicos de aguas de fusión de nieve que sufrieron procesos de evaporación y sublimación. El agua tiene su origen en las precipitaciones producidas en las zonas más elevadas de la meseta, tanto bajo forma de lluvia, o bien por derretimiento de nieve acumulada. En el caso de la precipitación nival debido al aumento de la temperatura estacional, esta se derrite y fluye a niveles más bajos a través de las fracturas en las vulcanitas constitutivas de la meseta.

INTRODUCCIÓN

La meseta de Somun Cura se ubica en la zona centro sur de la Provincia de Río Negro y centro norte de la Provincia de Chubut. Desde el punto de vista geológico la meseta comprende una de las principales manifestaciones volcánicas en la Tierra de composición basáltica-basandesítica. Constituye uno de los *plateaux* volcánicos del Terciario más enigmáticos y extensos que cubre aproximadamente un área de 25.000 km² [1, 2, 3, 4] y se localiza en la región extrandina a más de 400 km de distancia de la trinchera a estas latitudes [5].



El clima de la región es del tipo “continental árido”, caracterizado por una aguda amplitud térmica anual, donde las temperaturas mínimas alcanzan los -25°C , mientras las máximas superan los 35°C . Las precipitaciones se producen principalmente en la primavera, con valores anuales en el rango de los 50 mm a 225 milímetros. Los vientos provienen en forma dominante del oeste y se destacan por su severa intensidad debido a la ausencia de una barrera orográfica que los aminore. Respecto a la red fluvial, es común que en los *plateaux* basálticos la cobertura volcánica inhiba una buena instauración del drenaje superficial y los cursos fluviales suelen encajarse en los contactos entre distintas coladas, profundizando su cauce y formando finalmente extensos cañadones [6]. Regionalmente, los cursos fluviales en conjunto conforman una red de drenaje de diseño centrífugo que se distribuye a partir del sector subcentral de la meseta. Individualmente corresponden a sistemas subdendríticos o dendríticos.

En la región se encuentran bajos sin salida que pueden formar lagunas de hasta 50 m de profundidad, como es el caso de la laguna Azul y que representan un rasgo geomorfológico distintivo (Foto 1). Los menos profundos suelen alojar depósitos de arena fina a arcilla junto con costras salinas y calcáreas, que alcanzan un espesor máximo de 20 metros [7].

La meseta de Somun Cura es una zona de carácter desértico donde el agua es un recurso escaso, cuyas principales manifestaciones se encuentran en vertientes, arroyos y lagunas localizadas en los “bajos sin salida”.

La zona de estudio comprende Chipauquil-Ea. El Rincón-Los Menucos en el margen norte de la meseta en la provincia de Río Negro (Figura 1) y su investigación se lleva a cabo en el marco del Proyecto de Voluntariado Universitario Energía Solar y Recursos Naturales en Chipauquil, Provincia de Río Negro.

En esta área el clima es templado-frío con precipitaciones escasas, de unos 200 mm anuales. La temperatura promedio para el mes de enero es de alrededor de 35°C mientras que el de julio es de 3°C . Las vertientes ubicadas sobre los márgenes de la meseta tienen temperaturas que alcanzan los 45°C en forma permanente en cualquier época del año.



Foto 1. La laguna Azul es uno de los bajos sin salida que se encuentran en la meseta.

Marco Geológico del Área

En el área se reconocen rocas metamórficas de edad precámbrica reconocidas como Complejo Yaminué. En esta unidad se han descripto gneisses, anfibolitas, en los grados mayores, hasta filitas en los grados menores, con presencia de milonitas. Por encima se encuentran las



metamorfitas de bajo grado de la formación Nahuel Niyeu, representadas por metagrauvascas, pizarras y filitas. Estas metamorfitas son atravesadas por los intrusivos de la Formación Punta Sierra, asignada al Ordovícico [8]. Durante tiempos silúricos se depositaron los sedimentos que dieron lugar a las areniscas conglomerádicas y feldespáticas de la formación Sierra Grande. La formación Navarrete conformada por granodioritas, intruye la secuencia y es asignada al Carbonífero y Pérmico [8, 9, 10]. Por encima se apoyan las vulcanitas - andesitas e ignimbritas principalmente- del Complejo Volcánico Treneta, asignadas al Triásico. La Formación Puerto Piris, corresponde a sedimentación continental, representada por conglomerados y areniscas, se ubica en el Jurásico inferior. El resto del Jurásico está representado por las vulcanitas del Complejo Volcánico Marifil, constituido por ignimbritas riolíticas y dacíticas. En algunos sectores de la región afloran sedimentos continentales del Grupo Neuquén. Luego se encuentran los sedimentos de la Formación Arroyo Barbudo del Cretácico superior y Terciario inferior. En el Terciario tiene lugar el emplazamiento de los basaltos de la Formación Somun Cura, y las secuencias volcánicas básicas que se apoyan sobre ésta, dando lugar a una de las manifestaciones volcánicas más extensas en el planeta.

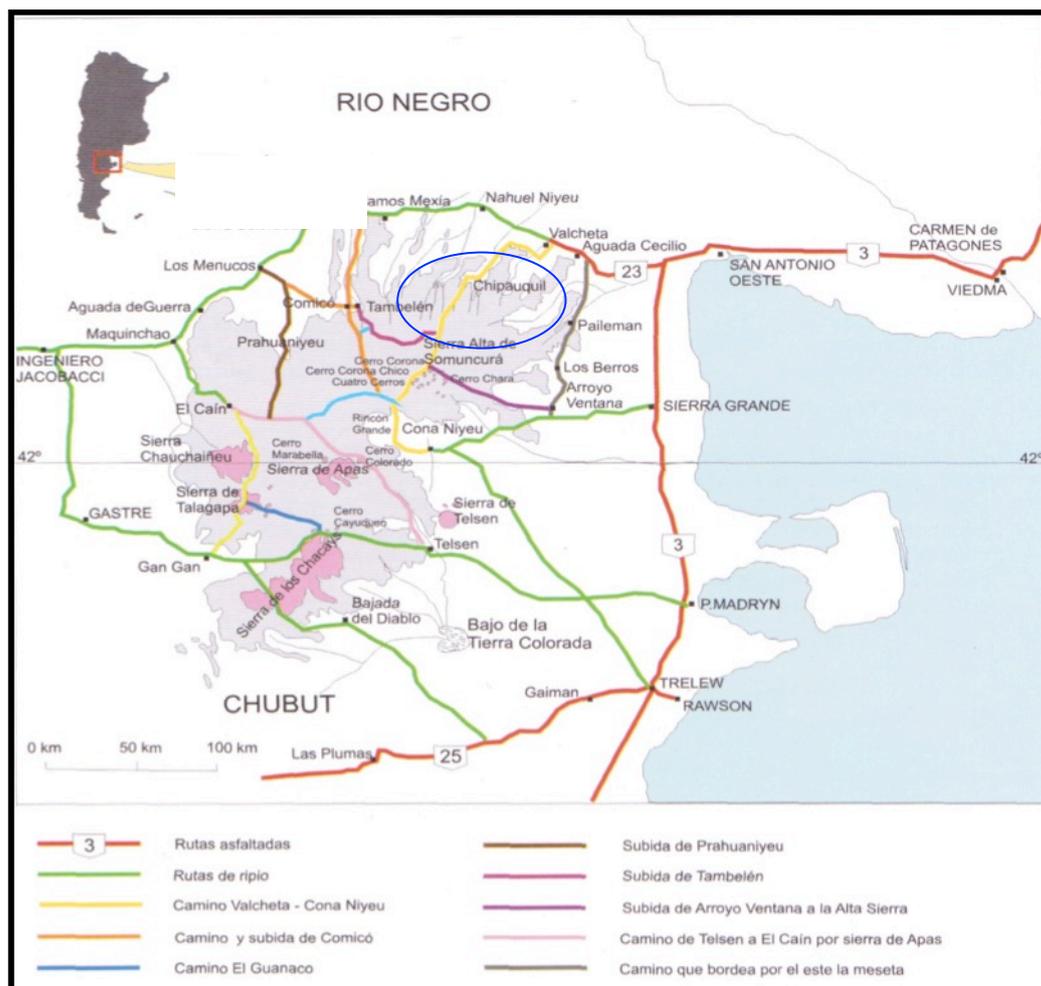


Figura 1 Mapa de ubicación del área de trabajo (tomado de Ardolino et al, 2008).



Materiales y métodos

Se tomaron 9 muestras de agua superficial en la zona de Chipauquil-Ea. El Rincón-Los Menucos, que complementan muestreos anteriores realizados sobre la zona Sur de la meseta en la localidad de Gan Gan (Chubut) [11]. Se midieron pH y conductividad eléctrica (mS/cm) in situ.

Los análisis químicos se realizaron en los laboratorios del Departamento de Ciencias Geológicas de la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales de la Universidad de Buenos Aires donde se determinaron elementos mayoritarios siguiendo las técnicas convencionales de los Standard Methods [12] y se presentan en la Tabla I. Para la interpretación de los datos químicos se utilizaron los diagramas de Piper, Schöller-Berkaloff y se utilizó la clasificación de agua para riego que emplea el índice de adsorción de sodio (RAS) utilizando el programa EasyQuim [13].

Muestra	TRA 102	CHI 06	TR 96	TRA 99	CHI 05	CHI 76	CHI 04	CHI 07	CHI 08
CE	993	498	686	1165	556	555	1110	550	567
Ph	7,51	7,99	8,39	7,05	7,25	6,91	8,55	7,27	8,27
HCO ₃ -	201	190	194	232	181	182	280	176	192
SO ₄ =	150	30	78	227	40	52	199	50	65
Cl-	89	17	55	119	30	34	81	30	25
NO ₃ -	0	4,5	3,3	14,7	5	4,3	0	4,2	2
Na+	63	21	76	97	40	42	125	36	39
K+	17	13	14	12	17	17	17	16	20
Ca ⁺⁺	83	24	26	108	23	30	51	26	31
Mg ⁺⁺	22	19	19	26	14	14	31	19	17

Tabla I. Análisis físico-químicos. Los valores están expresados en mg/L, con excepción del pH, que es adimensional, la conductividad eléctrica (CE) en $\mu\text{S/cm}$.

Las determinaciones isotópicas se llevaron a cabo por espectroscopía láser con un equipo Los Gatos Research DLT-100 en los laboratorios del INGEIS [14]. Los resultados se expresan como δ definido como: $\delta = 1000(R_s - R_p)/R_p \text{ ‰}$, donde, δ : desviación isotópica en ‰; S: muestra; P: referencia internacional; R: relación isotópica ($^2\text{H}/^1\text{H}$, $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$). La referencia utilizada es Vienna Standard Mean Ocean Water (V-SMOW) [15]. Las incertidumbres son $\pm 0,3\text{‰}$ para $\delta^{18}\text{O}$ y $\pm 1,0\text{‰}$ para $\delta^2\text{H}$. Por definición, el valor dV-SMOW = 0 ‰. Por lo tanto, un d positivo indica una mayor concentración de los isótopos pesados ^{18}O o ^2H que la referencia. Los datos se muestran en la Tabla II y se representan en diagramas convencionales $\delta^2\text{H}$ vs. $\delta^{18}\text{O}$.



LAB Nº	Remitente	$d^{18}O\%$ $\pm 0,3$	$d^2H\%$ ± 1
28541	CHI-04	-7,2	-63
28542	CHI-05	-9,3	-74
28543	CHI-06	-9,8	-77
28544	CHI-07	-9,0	-77
28545	CHI-08	-8,4	-73
28546	CHI-76	-9,4	-74
28547	TRA-096	-10,0	-82
28548	TRA-102	-9,4	-79
28549	TRA-099	-8,7	-76

Tabla II. Análisis isotópicos

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Composición química del agua

Las aguas en general tienen de baja a mediana mineralización. La conductividad eléctrica (CE) varía entre 498 mS/cm y 1165 mS/cm. El diagrama de Piper (Figura 2) permite clasificar las aguas fundamentalmente en tres tipos: uno bicarbonatado cálcico y el segundo como sulfatadas cloruradas cálcicas y el tercero como cloruradas sódicas.

El gráfico de Schöller-Berkaloff confirma estas características (Figura 3).

El índice de absorción de sodio utilizado para clasificar las aguas para riego indica dos niveles de riesgo Alto (c3-s1) para las muestras CHI 04, TRA 102, TRA 99 y Medio (c2-s1) para el resto (Figura 4).

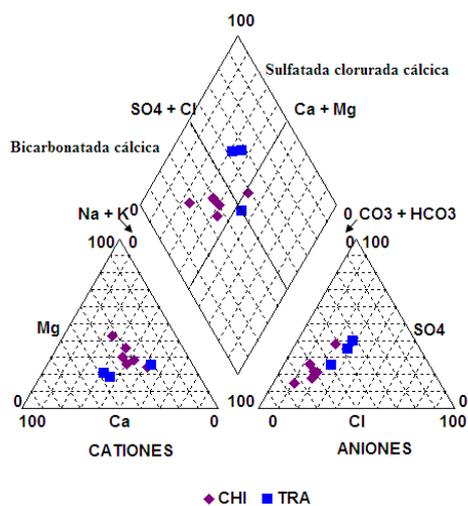


Figura 2. Diagrama de Piper

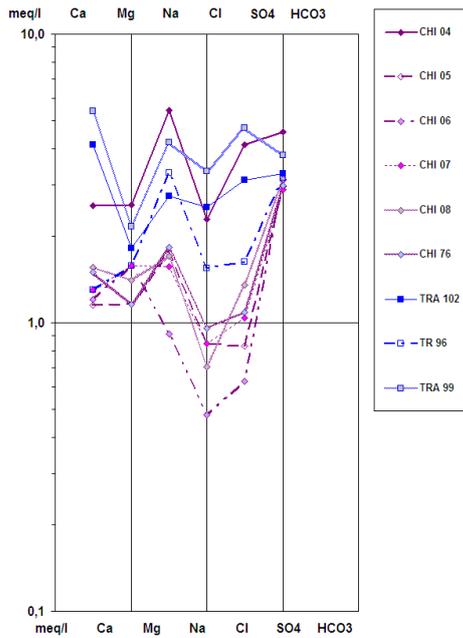


Figura 3. Diagrama de Schöller-Berkaloff

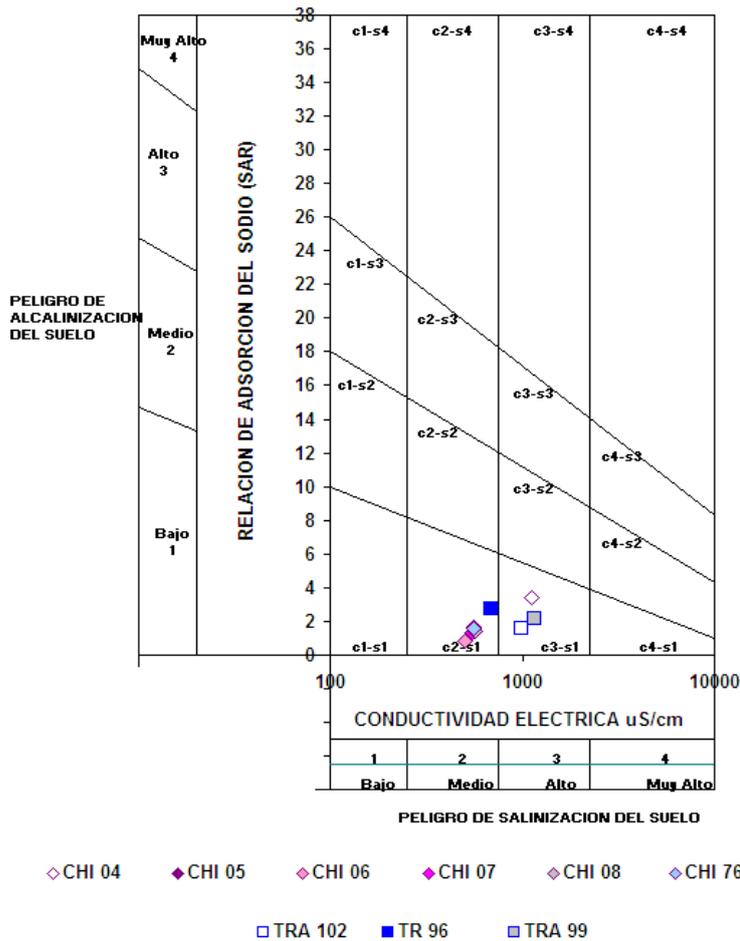


Figura 4. Clasificación de aguas para riego Índice de adsorción de sodio



Composición isotópica del agua

En la Figura 5, diagrama convencional $\delta^2\text{H}$ vs. $\delta^{18}\text{O}$ se han representado todas las muestras conjuntamente con la recta meteórica mundial, *i.e.* $\delta^2\text{H}=8\cdot\delta^{18}\text{O} + 10$ [16]

En general son aguas empobrecidas y tienen excesos de deuterio menores que 10‰ típicos de aguas de fusión de nieve que sufrieron procesos de evaporación y sublimación [17, 18]. Su composición isotópica indica que tienen su origen en las precipitaciones producidas en las zonas más elevadas de la meseta, tanto bajo forma de lluvia, o bien por derretimiento de nieve acumulada. En el caso de la precipitación nival debido al aumento de la temperatura estacional, esta se derrite y fluye a niveles más bajos a través de las fracturas en las vulcanitas constitutivas de la meseta.

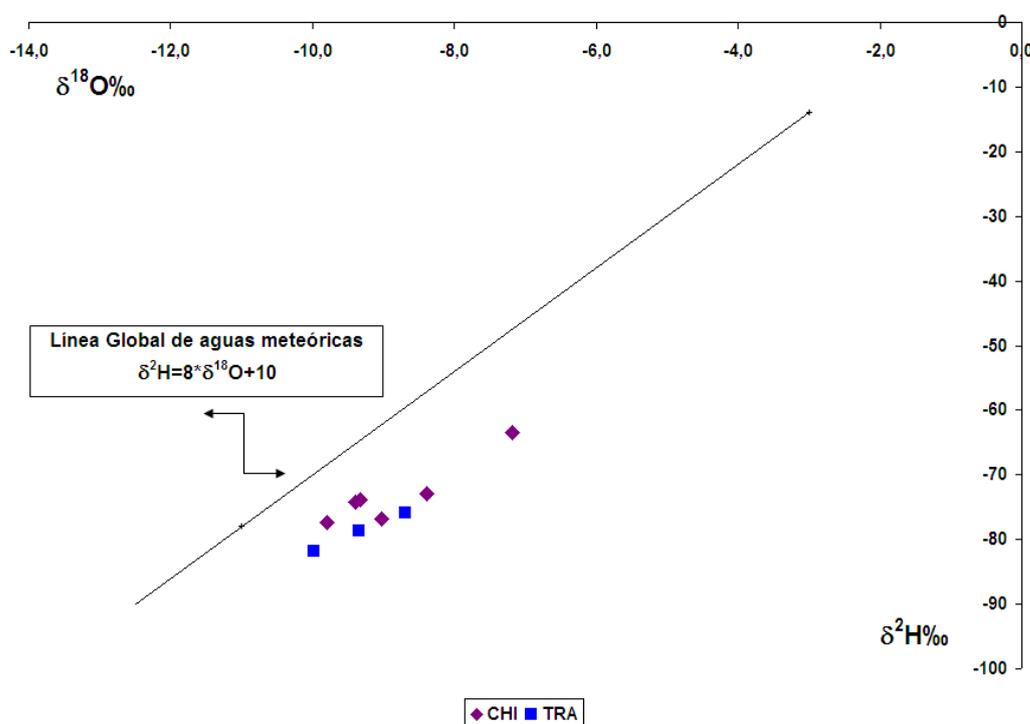


Figura 5. $\delta^2\text{H}$ vs. $\delta^{18}\text{O}$ de las muestras analizadas y recta meteórica mundial.

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Las muestras de agua analizadas químicamente son de mineralización media y se clasifican como bicarbonatadas cálcicas a cloruradas sódicas. De acuerdo a la clasificación de agua para riego utilizando el índice de adsorción de sodio son aguas de riesgo medio a alto. Esta mineralización se atribuye a la adquisición de sales durante el tránsito desde las zonas más elevadas en la meseta hasta las zonas más bajas. El paso a través de las fracturas en la meseta es también responsable del incremento en la temperatura del agua, que alcanza los 45 °C.



Los datos isotópicos son coherentes con recarga en las zonas altas de la meseta, producto de las precipitaciones pluviales y nivales con posterior derretimiento con señales de leve evaporación y sublimación.

REFERENCIAS

- [1] Remesal, M. y C. A. Parica, 1987. Caracterización geoquímica e isotópica de los basaltos de la meseta de Somuncurá. Actas del 10º Congreso Geológico Argentino, 4: 204-206. Buenos Aires.
- [2] Remesal, M. B. y C. A. Parica, 1989. Caracterización geoquímica e isotópica de basaltos de la meseta de Somuncurá. Revista de la Asociación Geológica Argentina, 44: 353-363.
- [3] Remesal, M. B., Méndez, M. J., Gagliardo, M., 2002. Petrología de la secuencia volcánica cenozoica en el área del arroyo Ranquil Huao: Meseta de Somún Curá, Patagonia Extraandina. Revista de la Asociación Geológica Argentina, 57: 260-270.
- [4] Ardolino, A.A., Franchi, M., Remesal, M., Salani, F. M., 2008. La Meseta de Somun Cura. Los sonidos de la piedra. Anales 46. Sitios de Interés Geológico Vol. II. Segemar Ed. Buenos Aires. Pp: 643-650
- [5] Ramos, V. A., H. Niemeyer, J. Skarmeta, J. Muñoz, 1982. The magmatic evolution of the Austral Patagonian Andes. En Symposium of magmatic evolution of the Andes, Earth Science Review, 18 (3- 4): 411- 443.
- [6] Maro, G. 2010. Vulcanismo de la Alta Sierra de Somún Curá: el cerro Corona, Provincia de Río Negro. Trabajo final de licenciatura. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales- Universidad de Buenos Aires, inédito. 108 pp
- [7] Franchi, M., Ardolino A.A., Remesal, M., 2001. Hoja Geológica N°4166- III, Cona Niyeu. Provincia de Río Negro. Instituto de Geología y Recursos Minerales, Servicio Geológico Minero Argentino. Boletín 262: 1-114. Buenos Aires.
- [8] Caminos, R. 2001. Hoja Geológica 4166-I, Valcheta. Provincia de Río Negro. Instituto de Geología y Recursos Minerales, Servicio Geológico Minero Argentino. Boletín 299, 71 p., Buenos Aires.
- [9] Caminos, R.L. y C.A. Parica, 1985. The significance of new Rb-Sr ages of igneous rocks, from Northern Patagonian Massif. Comunicaciones 35, Santiago, Chile.
- [10] Llambías, E.J., C.W. Rapela y C.A. Parica, 1985. Rb-Sr Geochronology of La Esperanza Eruptive Complexes, North Patagonian Massif (68o 28' W, 40o 28' S). Comunicaciones 35, Santiago, Chile.
- [11] Dapeña, C., Parica, C.A., Bechis, F. and Remesal, M.B. 2003. Environmental isotopes of Pampa de Gan Gan. North Patagonian Massif. Chubut. IV Simposio Suramericano de Geología Isotópica. Bahía, Brasil
- [12] A.P.H.A, A.W.W.A y W.P.C.F, 1997. Estándar methods for the examination of water and waste water, 19a ed. 1134 pp, Washington.
- [13] Vasquez Suñé, E., 2002, Programa Easy Quim.4. GHS-UPC, CIHS. España



- [14] Lis, G, L. I. Wassenaar, and M. J: Hendry, 2008. High-Precision Laser Spectroscopy D/H and $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ measurements of Microliter Natural Water Samples. *Analytical Chemistry* 80:287-293.
- [15] Gonfiantini, R., 1978. Standards for stable isotope measurements in natural compounds. *Nature* 271: 534
- [16] Craig, H. 1961. "Isotope variations in meteoric waters". *Science*, 133, 1702-1703
- [17] Arnasson, B., 1981. Ice and snow hydrology Chapter 7. *Guide Book on Nuclear Techniques in Hydrology*. Technical Report Series 91.IAEA. Vienna.
- [18] Gat., J. R., 2010. *Isotope Hydrology A study of the water cycle*. Series on Environmental Science and Management – Vol. 6. 189p Imperial College Press.



Vulnerabilidad a la erosión costera entre las localidades de Mar de Cobo y Mar Chiquita, provincia de Buenos Aires, Argentina

L. San Martín¹, S.C. Marcomini¹, R. A. López¹

¹*Departamento de Geología, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Buenos Aires*
sanmartin.laura@gmail.com

RESUMEN

La vulnerabilidad a la erosión de una playa está dada tanto por factores naturales como por factores antrópicos directos o inducidos. Para evaluar la vulnerabilidad se realizaron análisis morfométricos, granulométricos y de los impactos antrópicos presentes en la región analizada mediante relevamientos de campo, fotografías aéreas e imágenes satelitales y perfiles de playa perpendiculares a la línea de costa. Para cuantificar los parámetros, se les asignó el valor cero a los valores naturales y del uno en adelante cuanto más se desplazara del valor natural. En cuanto a los parámetros naturales, se analizaron parámetros morfométricos (ancho de playa frontal y pendiente de playa total), parámetros granulométricos (media y selección), presencia de morfologías de playa (bermas, barras de lavado, plataformas de abrasión y terrazas de erosión marina), morfologías eólicas (dunas incipientes y rasgos deflacionarios) y la velocidad de retroceso de la línea de costa. Entre los parámetros antrópicos se consideró el estado de conservación de la duna costera, la presencia de huellas de circulación de vehículos, balnearios con y sin carpas y drenajes superficiales, y finalmente la influencia de las obras de manejo costero. A cada uno de estos parámetros se le asignaron valores que representan el nivel de erosión de ese sector y con esos valores en cada perfil se generó una matriz de vulnerabilidad a la erosión costera. Los valores obtenidos permitieron discriminar el nivel de vulnerabilidad a la erosión costera en cinco categorías: baja, moderada, alta, muy alta y extrema. Se llegó a la conclusión que los sectores con mayor vulnerabilidad corresponden a zonas urbanizadas.

Palabras clave: vulnerabilidad, erosión, costa.

INTRODUCCIÓN

La zona comprendida entre las localidades de Mar de Cobo y Mar Chiquita se ubica en el sureste de la provincia de Buenos Aires, aproximadamente 40 km al norte de la ciudad de Mar del Plata (Figura 1). Presenta tasas de retroceso costero elevadas, que en Mar de Cobo varían entre 3,5 y 6 m/año [1] [2] y en Mar Chiquita entre 5 y 7 m/año [3] [4] [5] [6].

El principal motivo de erosión costera se relaciona con el desbalance sedimentario de las corrientes litorales, que si bien posee causas naturales como el cambio climático y variaciones en el nivel del mar, se ve intensificado por la acción directa e indirecta del



hombre, poniendo en riesgo el principal recurso de la zona: el turismo [7]. De esta manera, la vulnerabilidad a la erosión costera está dada tanto por la vulnerabilidad natural a la erosión como por la erosión inducida por factores antropogénicos [8].



Figura 1. Localización de la zona de estudio. Se visualiza la localidad de Mar Chiquita al noreste y la localidad de Mar de Cobo al sur.

El objetivo de este trabajo es analizar los rasgos y actividades que aumentan la vulnerabilidad a la erosión y realizar una zonificación según el nivel de vulnerabilidad en la región estudiada, incluyendo tanto los parámetros naturales como los antrópicos. Este análisis será de utilidad para la toma de decisiones futura en relación a los usos y obras que se realizarán en zona.

METODOLOGÍA

Los datos utilizados para este trabajo forman parte de la tesis de licenciatura de la autora [9]. Para el estudio se realizó un relevamiento de campo, durante el cual se relevaron perfiles de playa a lo largo de la costa, en los que se identificaron subambientes de playa con sus morfologías y se midieron diferentes parámetros (anchos y pendientes de playa total, frontal y distal y ancho, alto y pendientes de la duna costera). Se tomaron además muestras de arena de los diferentes subambientes (playa frontal, playa distal y duna costera) para la realización de análisis granulométricos y obtención de datos estadísticos. Finalmente, se relevaron los impactos antrópicos, incluyendo las obras de defensa costera, y de estas últimas se analizó la extensión del efecto tanto acumulativo como erosivo que generan.

El método utilizado para la cuantificación y zonificación de la vulnerabilidad se basó en los trabajos de [7] [10] [11] [12].

El primer paso consistió en la identificación de los parámetros, tanto naturales como antropogénicos, que resultaron de utilidad para el análisis de los procesos erosivos a lo largo del estudio. Luego, cada uno de estos parámetros fue dividido en categorías según un rango de valores o presencia o ausencia de alguna característica, y a cada uno de ellos se le asignó un valor o atributo. Las condiciones naturales sin erosión inducida recibieron un valor nulo, que va aumentando al alejarse de las mismas.



Los valores obtenidos se desplegaron en una matriz de vulnerabilidad a la erosión costera, en donde los perfiles se ubican en las filas y los parámetros analizados en las columnas. En cada intersección se colocó el atributo obtenido de un determinado parámetro en un determinado perfil. Posteriormente, se sumaron los puntajes de cada perfil, siendo los que obtienen mayores valores los más vulnerables a la erosión costera.

Finalmente, se tomó el valor de máxima vulnerabilidad que se podía obtener en la matriz y se lo dividió en cinco niveles de vulnerabilidad a la erosión costera: bajo, moderado, alto, muy alto y extremo. El resultado obtenido fue representado en un mapa, generándose así zonas de diferente vulnerabilidad a la erosión costera.

RESULTADOS

Identificación y valoración de los atributos

Los parámetros que resultaron de mayor utilidad para el análisis de la erosión fueron seleccionados para conformar la matriz de vulnerabilidad a la erosión son los siguientes:

Parámetros naturales

- Parámetros de playa: ancho de playa distal, pendiente de playa total
- Parámetros granulométricos: media y selección
- Presencia en la playa de: berma, barra de lavado, terraza o plataforma de abrasión
- Presencia en la duna costera de: dunas incipientes, rasgos deflacionarios
- Retroceso de la línea de costa

Parámetros antropogénicos

- Conservación de la duna costera
- Circulación de vehículos
- Presencia de balnearios
- Presencia de drenajes superficiales
- Manejo costero

Cada parámetro se dividió en rangos según los valores mínimos y máximos obtenidos en el estudio, y a cada rango se le otorgó un atributo. Las tablas de cada parámetro con sus rangos y atributos se presentan en la Figura 2.

Los parámetros de playa que mejor describen el grado de erosión en la misma son el ancho de playa distal y la pendiente de playa total. El valor cero fue asignado a playas distales con un ancho mayor a 30 metros que corresponden a condiciones naturales, a las playas distales con anchos entre 15 y 30 metros se les asignó un valor intermedio (1), mientras que las más erosivas son playas distales con anchos entre 0 y 15 metros, que son las más vulnerables. La pendiente de playa total menor a 0,03 radianes se considera natural por lo cual su atributo es cero. Las de vulnerabilidad intermedia varían entre 0,03 y 0,06 radianes y las más vulnerables presentan pendientes mayores a 0,06 radianes y se les atribuye el valor dos. En cuanto a la



granulometría, los parámetros que evidencian condiciones erosivas son la media y la selección de los sedimentos de la duna costera. Para la media granulométrica, los rangos son: menor a 1ϕ , entre 1 y 2ϕ y mayor a 2ϕ , a los que se les asignó los valores 0, 1 y 2 respectivamente. Los rangos para la selección granulométrica son: menor a 1, entre 0,5 y 1 y menor a 0,5 de menor a mayor vulnerabilidad, con atributos de 0, 1 y 2 respectivamente.

La presencia o ausencia de ciertas morfologías en la playa pueden ser indicadoras de procesos erosivos. La pérdida de capacidad del medio para recuperar la berma, se relaciona con la urbanización y como consecuencia con altos grados de erosión inducida [8]. La presencia de barras de lavado es el primer indicio de recuperación del sistema luego de una tormenta. De este modo, el atributo más bajo fue asignado a playas con berma estable (0), el intermedio a playas con berma estacional (1) y el que indica mayor vulnerabilidad a playas sin berma (2). De la misma manera, a las playas con barra de lavado se les asignó el valor 0 y a las playas con barra de lavado el 1. Por otro lado, la presencia de plataformas de abrasión con calcretes disminuye la erosión [13]. El mismo efecto es generado por las terrazas de abrasión marina. En consecuencia, se les asignó un valor nulo a las playas que presentan estas morfologías mientras que al resto se les asignó un atributo de valor 2.

Finalmente, en cuanto a las geoformas relacionadas con el proceso eólico, la presencia de dunas incipientes en la playa distal o dentro de la misma duna fijada, indica una recuperación de la misma [11]. La presencia de dunas incipientes fue valorada en cero, mientras que la ausencia de las mismas en dos. Por otro lado, las dunas en voladura representan procesos deflacionarios, que degradan la duna costera [13]. Es por esto que a las playas con dunas sin rasgos deflacionarios se les atribuyó el valor nulo, con rasgos leves el valor 1 y con dunas en voladura desarrolladas el valor 2.

La velocidad de retroceso de la línea de costa también puede utilizarse como indicador de la vulnerabilidad a la erosión de la misma [10]. Los valores de velocidad de retroceso de la línea de costa aquí utilizados se calcularon en [9]. Dada la variabilidad de estos valores, se les asignó atributos del 0 al 3, según los rangos de retroceso menor a 1 m/a, entre 1 y 2,5 m/a, entre 2,5 y 4 m/a y mayor a 4 m/a respectivamente.

En la zona de estudio se presenta una amplia variedad de estados de conservación de la duna costera. Cuanto más modificada se encuentra la misma, mayor es la vulnerabilidad a la erosión costera [13] [7] [10]. Los rangos utilizados son: duna conservada, duna escarpada, duna fijada, duna con núcleos relícticos y duna arrasada, que varían de mayor a menor conservación y a los cuales se les asignaron atributos de 0 a 4 respectivamente.

Los sectores con circulación de vehículos sufren erosión inducida, por lo cual las playas con presencia de huellas vehiculares fueron valoradas en 1 y las demás en 0. Por otro lado, la presencia de balnearios y carpas, con la consecuente removilización de arena que generan, causan erosión inducida sobre la playa. La presencia de carpas aumenta la superficie modificada y removilizada. De esta manera, a las playas sin balneario se les atribuyó el valor nulo, a las playas con balneario sin carpas el valor 1 y a las playas con balneario y carpas el valor 2. Además, la ausencia de drenajes superficiales que lleven el agua de la escorrentía del



trazado urbano hacia el mar genera la formación de canaletas erosivas a lo largo de la playa, mientras que fuera del sector urbanizado, los drenajes no son necesarios. De esta forma, a las zonas con drenajes o sin urbanizar se les asignó un valor nulo mientras que a las zonas sin drenaje el valor 2.

Ancho de playa distal		Rasgos deflacionarios	
Rango (m)	Atributo	Rango	Atributo
> 30	0	Ausentes	0
15 - 30	1	Rasgos leves	1
0 - 15	2	Dunas en voladura	2

Pendiente de playa total		Retroceso de la línea de costa	
Rango (10^{-2} rad)	Atributo	Rango	Atributo
< 3	0	< 1 m/a	0
3 - 6	1	1 - 2,5 m/a	1
> 6	2	2,5 - 4 m/a	2
		> 4 m/a	3

Media granulométrica		Conservación de la duna costera	
Rango	Atributo	Rango	Atributo
< 1 ϕ	0	Conservada	0
1 ϕ - 2 ϕ	1	Escarpada	1
> 2 ϕ	2	Fijada	2
		Núcleos relicticos	3
		Arrasada	4

Selección granulométrica		Circulación de vehículos	
Rango	Atributo	Rango	Atributo
> 1	0	No	0
0,5 - 1	1	Si	1
< 0,5	2		

Berma		Balnearios	
Rango	Atributo	Rango	Atributo
Estable	0	Ausente	0
Estacional	1	Sin carpas	1
Sin berma	2	Con carpas	2

Barra de lavado		Drenajes superficiales	
Rango	Atributo	Rango	Atributo
Si	0	Si / Sin urbanizar	0
No	1	No	2

Plataforma/Terraza de abrasión		Manejo costero	
Rango	Atributo	Rango	Atributo
Si	0	No afectado por obras / Zona de acumulación de espigones	0
No	2	Con acorazamiento	1
		Deriva debajo del acorazamiento	2
		Zona de erosión de espigón	3

Dunas incipientes	
Rango	Atributo
Si	0
No	2

Figura 2. Rangos y atributos correspondientes a cada parámetro analizado.

Dentro de los diferentes tipos de manejo costero analizado, los que generan un aumento en la erosión inducida son los acorazamientos y los espigones [9]. En cuanto a los espigones, generan zonas de acumulación y zonas de erosión, que fueron valoradas con 0 y 3 respectivamente por representar los extremos. Los acorazamientos previenen el retroceso de



la línea de costa, pero generan una pérdida del recurso playa y una fuerte erosión deriva debajo de los mismos. Es por esto que los sectores con acorazamientos fueron valorados con 1, mientras que los sectores derivan debajo de los mismos con 2. A las zonas sin influencia de obras se les asignó el valor nulo por mantener las condiciones naturales.

Matriz de vulnerabilidad a la erosión costera

Con los parámetros descritos en la sección anterior, se conformó la Matriz de Vulnerabilidad a la Erosión Costera, indicando para cada perfil analizado el atributo correspondiente al parámetro. Los perfiles seleccionados para cubrir toda la zona de estudio fueron, de sur a norte, el perfil SMC que incluye el sector al sur del Ao. Los Cueros, los perfiles MC1 a MC6 ubicados en Mar de Cobo, los perfiles EL1 a EL4, que son representativos del sector entre localidades y finalmente los perfiles MCh1 a MCh5, que corresponden a Mar Chiquita (Figura 3).



Figura 3: Localización de los perfiles utilizados para la matriz de vulnerabilidad a la erosión costera.

Según los valores obtenidos se dividió el área estudiada en cinco categorías de diferente vulnerabilidad a la erosión costera, que se identifican con colores en la matriz y serán descriptas en la sección siguiente (Figura 4).



Atributo	Perfil																
	Ancho de playa distal	Pendiente de playa total	Media	Selección	Berma	Barra de lavado	Plataforma / Terraza de abrasión	Dunas incipientes	Rasgos deflacionarios	Retroceso de la línea de costa	Conservación de la duna costera	Huellas de circulación de vehículos	Balnearios	Drenajes superficiales	Manejo costero	Vulnerabilidad total	Zonificación
SMC	0	0	2	2	2	0	0	0	1	3	1	1	0	0	0	12	3
MC1	1	0	2	2	2	0	2	2	2	3	2	1	0	2	0	21	5
MC2	2	1	2	2	2	0	2	0	1	1	3	0	0	2	0	18	4
MC3	2	2	1	2	2	0	0	2	1	0	2	0	0	2	0	16	4
MC4	1	1	1	1	1	0	2	2	0	1	2	0	1	2	3	18	4
MC5	2	2	1	0	2	1	2	0	1	1	3	1	0	2	3	21	5
MC6	2	1	1	1	2	0	0	2	0	1	2	1	0	2	0	15	4
EL1	1	0	1	1	1	1	2	0	1	3	3	1	0	0	0	15	4
EL2	0	0	1	1	1	1	2	0	1	3	3	1	0	0	0	14	3
EL3	0	0	0	0	1	1	2	0	1	3	2	1	0	0	0	11	3
EL4	0	0	0	0	1	1	2	0	1	3	1	1	0	0	0	10	3
MCh1	2	1	1	1	2	1	2	2	1	2	2	1	0	2	0	20	5
MCh2	2	1	2	2	2	1	2	2	1	2	1	0	0	2	3	23	5
MCh3	1	1	2	2	2	0	2	0	1	1	4	1	2	2	0	21	5
MCh4	2	2	2	2	2	1	2	0	1	2	2	1	0	2	3	24	5
MCh5	2	2	2	2	2	1	2	0	0	1	4	1	0	0	0	19	4

Figura 3. Matriz de vulnerabilidad a la erosión costera para la zona comprendida entre las localidades Mar de Cobo y Mar Chiquita.

Zonificación de la vulnerabilidad a la erosión costera

Las categorías de vulnerabilidad a la erosión costera son: zonas con vulnerabilidad a la erosión baja, zonas con vulnerabilidad a la erosión moderada, zonas con vulnerabilidad a la erosión alta, zonas con vulnerabilidad a la erosión muy alta y zonas con vulnerabilidad a la erosión extrema. La distribución de estas zonas en el terreno se presenta en la Figura 4. Se describen a continuación las características de cada una.

1. Zonas con baja vulnerabilidad a la erosión. Ancho de playa distal mayor a 80 metros. Presenta berma estable y duna conservada. Hay dunas incipientes sin rasgos deflacionarios. Son zonas sin urbanizar y sin obras de manejo costero. No se encuentran presentes en el área de estudio.



2. Zonas con moderada vulnerabilidad a la erosión. El ancho de la playa distal es mayor a 50 metros. Posee berma estable o estacionaria. Hay dunas incipientes y no hay rasgos deflacionarios. La duna se encuentra conservada o escarpada. Son zonas sin urbanizar y sin obras de manejo costero. Se reconocen fuera del área de estudio.

3. Zonas con alta vulnerabilidad a la erosión. El ancho de la playa distal es mayor a 30 metros y su pendiente menor a 3. Puede haber una berma estacional. La duna se encuentra escarpada o fijada. Hay dunas incipientes y rasgos deflacionarios leves. Son zonas sin urbanizar, que no poseen obras de manejo costero. Se encuentran al sur de Mar de Cobo y en el sector entre ambas localidades pero no inmediatamente al norte de la urbanización.

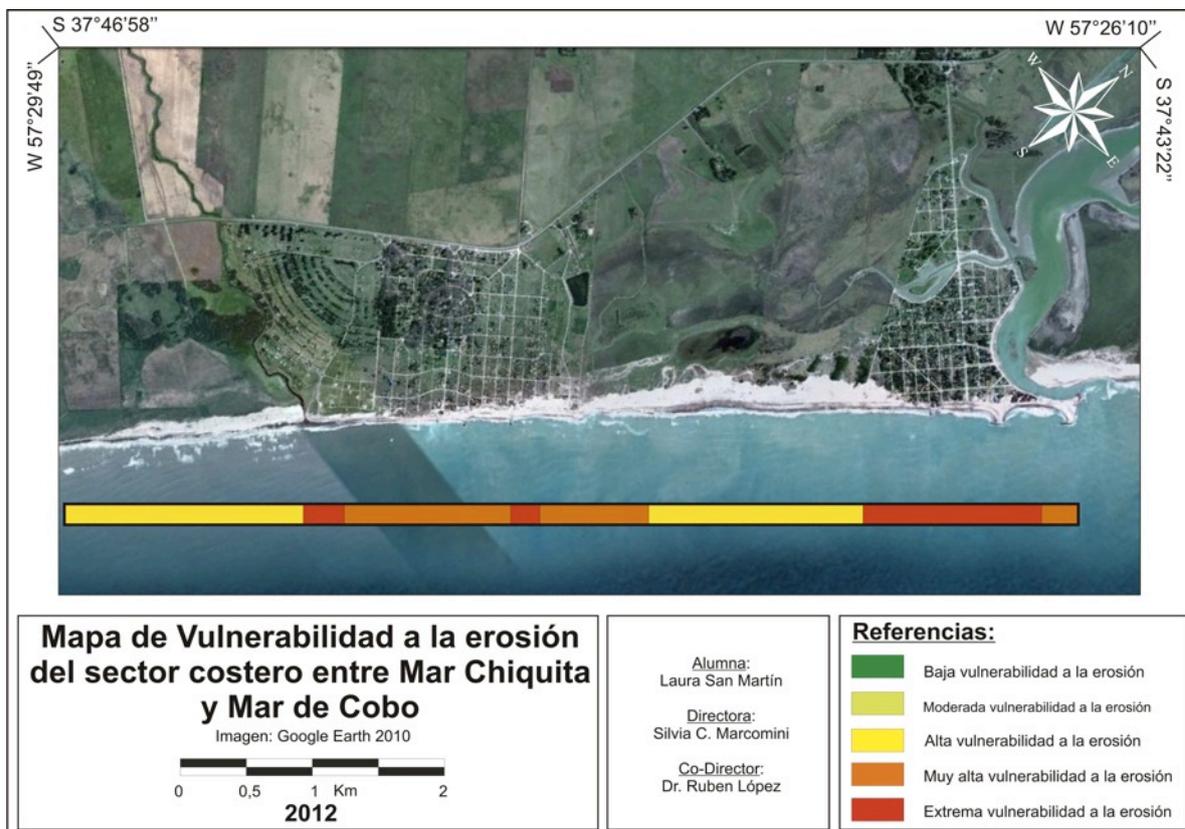


Figura 4. Mapa de vulnerabilidad a la erosión costera del sector comprendido entre las localidades Mar Chiquita y Mar de Cobo.

4. Zonas con muy alta vulnerabilidad a la erosión. El ancho de la playa distal es menor a 30 metros. Usualmente no presenta berma, aunque puede haber una berma estacional o una barra de lavado. La duna se encuentra fijada o con núcleos relícticos. Puede haber o no dunas incipientes y rasgos deflacionarios. Son zonas urbanizadas o directamente al norte de la urbanización, pero sin obras de manejo costero. En la zona de estudio, corresponden al centro de Mar de Cobo, la zona norte de Mar de Cobo, el sur del área entre localidades y la boca de la albufera.



5. Zonas con extrema vulnerabilidad a la erosión. El ancho de playa distal es menor a 15 metros, los sedimentos son más gruesos y peor seleccionados. No presenta berma, sólo barra de lavado en algunos casos. Puede haber dunas incipientes o no. La duna se encuentra fijada, con núcleos relícticos o arrasada. Los rasgos deflacionarios están siempre presentes, puede haber dunas en voladura. Son zonas urbanizadas y suelen tener alguna obra de manejo costero. Corresponde a sectores puntuales en Mar de Cobo (perfil MC1 y MC5) y a la localidad de Mar Chiquita.

CONCLUSIONES

Los sectores que presentan vulnerabilidad extrema corresponden a toda la extensión urbanizada de la localidad de Mar Chiquita, especialmente entre las calles F. Ameghino y Av. San Martín (perfil MCh2) y entre M. Moreno y H. Ascasubi (perfil MCh4), junto con los extremos sur (al sur de Av. del Parque, perfil MC1) y norte (entre las calles De las Artes y Santa Elena, perfil MC5) de la localidad de Mar de Cobo. Entre las calles Av. del Parque y De las Artes y hacia el norte de la calle Santa Elena en Mar de Cobo hasta el perfil Alabrado la vulnerabilidad a la erosión es muy alta. Finalmente, al sur de Mar de Cobo y al sur de Mar Chiquita, en los sectores sin urbanizar, la vulnerabilidad a la erosión es alta. No se determinaron sectores de vulnerabilidad baja ni moderada.

Se llegó a la conclusión que los sectores con mayor vulnerabilidad se corresponden con las zonas urbanizadas. Las zonas con menor vulnerabilidad son aquellas áreas naturales donde la duna costera aún no ha sido modificada por la acción antrópica.

REFERENCIAS

- [1] E. J. Schnack, J. R. Alvarez y J. L. Cionchi, 1983. El carácter erosivo de la línea de costa entre Mar Chiquita y Miramar, Provincia de Buenos Aires, Simposio Oscilaciones del nivel del mar durante el último hemicycle delaciar en la Argentina, INQUA, Mar del Plata.
- [2] R. A. López y S. C. Marcomini, 2002. Pautas para el manejo en costas acantiladas y de dunas, Provincia de Buenos Aires. Revista de Geología Aplicada a la Ingeniería y al Ambiente, 18, 59-68.
- [3] F. I. Isla y M. C. Villar, 1992. Ambiente costero: Pacto ecológico. Universidad Nacional de Mar del Plata y Senado de la Provincia de Buenos Aires, Mar del Plata, pp. 25.
- [4] F. I. Isla, 1997. Seasonal behaviour of Mar Chiquita tidal inlet in relation to adjacent beaches, Argentina. Journal of Coastal Research, 13, 1221-1232.
- [5] A. Merlotto y G. Bértola, 2007. Consecuencias socio - económicas asociadas a la erosión costera en el Balneario Parque Mar Chiquita, Argentina. Investigaciones Geográficas 43, 143-160.
- [6] A. Merlotto y G. R. Bértola, 2008. Evolución urbana y su influencia en la erosión costera en el Balneario Parque Mar Chiquita, Argentina. Papeles de Geografía, 47-48, 143-158.
- [7] S. C. Marcomini y R. A. López, 2007. Erosión y manejo costero de Villa Gesell. Ed. Unión por Gesell. Libro digital.



- [8] S. C. Marcomini y R. A. López, 1997. Beach profile vulnerability. Proceedings of the Coastal Environmental management and conservation, BORDOMER 97, 220-231.
- [9] L. San Martín, 2012. Geomorfología, morfodinámica, impactos antrópicos y vulnerabilidad a la erosión del sector costero entre las localidades de Mar Chiquita y Mar de Cobo. Tesis de Licenciatura, Inédita.
- [10] A. Merlotto, E. Verón y F. Sabuda, 2008. Riesgo de erosión costera en el Balneario Parque Mar Chiquita, provincia de Buenos Aires. Párrafos Geográficos, 7, 103-121.
- [11] N. T. Manograsso Czalbowski, 2008. Caracterización geológico - ambiental y manejo costero del sector comprendido entre las localidades de Claromecó y Reta. Tesis de Licenciatura, inédita, pp. 158.
- [12] F. I. Isla y C. A. Lasta (compiladores), 2010. Manual de manejo de Barreras Medanosas de la Provincia de Buenos Aires, Ed. Eudem, Universidad Nacional de Mar del Plata.
- [13] R. A. López y S. C. Marcomini, 2000. Geomorfología y ordenamiento territorial del sector costero comprendido entre la ciudad de Miramar y el Arroyo Nutria Mansa, partido de General Alvarado, Revista de la Asociación Geológica Argentina 55, 251-264.



Primeros avances en la identificación e interpretación del fondo químico de las aguas subterráneas en la cuenca del río Areco, Buenos Aires, Argentina *

Sileo N. R.¹, Grattone N. I.¹, Fuentes N.O.¹

¹ Comisión Nacional de Energía Atómica (PNGRR G.A.S.N. y A., Argentina)

sileo@cnea.gov.ar

RESUMEN

La región estudiada, abarca la Cuenca del Río Areco en toda su extensión, y está ubicada en el NE de la Provincia de Buenos Aires, Argentina. Esta zona presenta un uso de la tierra muy diverso, siendo fundamentalmente de tipo agrícola-ganadero, urbano, e industrial.

El objetivo del presente trabajo consiste en la caracterización hidroquímica de las aguas subterráneas, para poder identificar e interpretar el fondo químico natural en el área de estudio, teniendo en cuenta los potenciales procesos físico-químicos que determinan la composición química observada.

Para ello, ha sido realizado el muestreo de las aguas subterráneas de los acuíferos Pampeano y Puelches, en pozos pre-existentes en la zona. Se obtuvieron mediciones de temperatura, conductividad eléctrica, pH, oxígeno disuelto, potencial redox, y alcalinidad, in situ. Asimismo, se determinó la hidroquímica mediante el relevamiento de puntos de agua en la zona, teniendo en cuenta la actividad antrópica desarrollada en cada caso. Utilizando los valores obtenidos, se confeccionó una base de datos completa para cada punto, y se comenzó a elaborar mapas temáticos georreferenciados, para analizar las relaciones entre los distintos elementos evaluados.

Además, se comenzó con el análisis de elementos mayoritarios y traza para cada punto relevado.

Las asociaciones de elementos traza que pueden encontrarse en el agua subterránea, suelen ser consecuencia de la migración vertical a través del suelo y la zona no saturada, permitiendo la identificación de procesos modificadores, la presencia de ciertos trazadores, el conocimiento del funcionamiento hidráulico del medio y su posible evolución.

Los resultados preliminares indican la presencia de aguas subterráneas levemente alcalinas, con algunas variaciones en las concentraciones de los diversos elementos según las zonas de recarga y descarga del sistema.

Este trabajo participa en el "concurso para jóvenes investigadores".



INTRODUCCIÓN

El Fondo Natural

El presente trabajo tiene como objetivo identificar, inventariar y establecer las principales fuentes potenciales de solutos para el agua subterránea de la Zona Noreste de la Provincia de Buenos Aires, del área que abarca la cuenca del Río Areco en toda su extensión, lo que permitirá identificar e interpretar el fondo químico natural.

Según el proyecto BaSeLiNe, el fondo natural se define como el rango de concentraciones en el agua de un cierto elemento, especie o sustancia, y derivado de fuentes geológicas, biológicas o atmosféricas naturales. Esta definición condiciona la metodología más adecuada a utilizar para cumplir con la legislación [1].

Para establecer el fondo natural de un cuerpo de agua subterránea o superficial, lo ideal sería contar con información química de zonas prístinas, lo cual hoy en día y en la zona de estudio es muy difícil de obtener. Una forma de distinguir aguas naturales, de aguas con signature antrópica, sería teniendo en cuenta las siguientes pautas propuestas por Manzano et al., 2004 [1]:

- Tener evidencias de que la edad del agua es superior a 50 o 100 años.
- Extrapolar las series temporales de datos químicos disponibles hacia atrás, en el cual no existió impacto antrópico.
- Utilizar elementos indicadores de la actividad humana, tales como agroquímicos, productos industriales, aumentos de especies del N o carbono orgánico total (COT), para identificar la presencia de aguas jóvenes con impronta antrópica.

La Zona de Estudio

La cuenca del Río Areco drena en su sector superior y medio el ámbito continental definido geomorfológicamente como Pampa Ondulada [2], mientras que en su sector inferior y de desembocadura se asocia a un ambiente litoral y de llanura deltaica. La denominada subregión hidrogeológica Río Paraná [2] se extiende desde la Cuenca del Río Salado al sur y sudoeste, hacia el norte hasta al menos el meridiano $33^{\circ}30'$ o los bajos submeridionales, al este hasta el Río Paraná y al oeste hasta aproximadamente el paralelo $62^{\circ}30'$ (ver Figura 1).

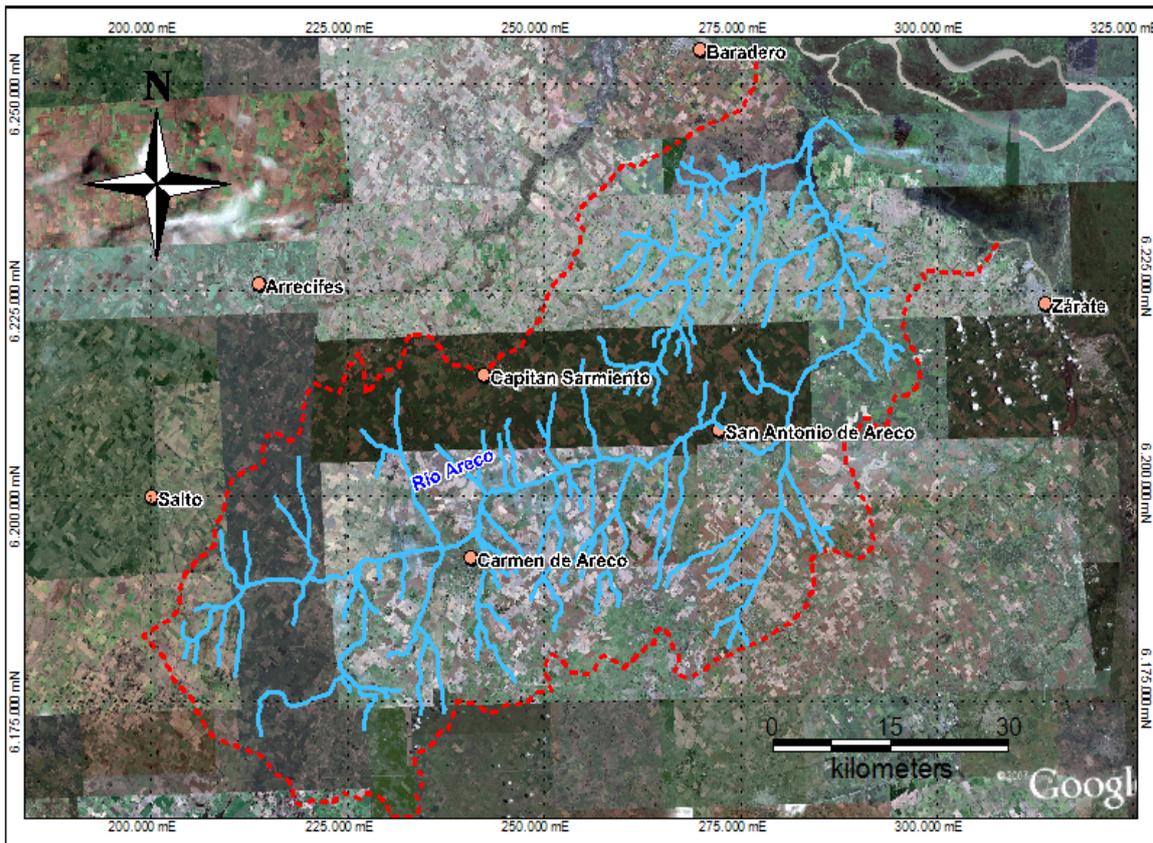


Figura 1: Mapa de ubicación de la zona de estudio. En rojo límite potencial de la cuenca del Río Areco.

En la actualidad, el área presenta un clima templado húmedo, con una temperatura media anual de 16° C, y una precipitación media de 1020 mm/año, concentrándose las mismas en las estaciones de primavera y verano. Los principales acuíferos que conforman el sistema de esta zona de estudio se caracterizan por la estratigrafía e hidro-estratigrafía detalladas en la Tabla I.

Estratigrafía	Hidroestratigrafía	Acuífero
Sedimentos Pampeano	Epiparaneano	Pampeano
Formación Puelches	Epiparaneano	Puelche
Formación Paraná	Paraneano	Paraná
Formación Olivos	Hipoparaneano	Acuitardo
Basamento cristalino	Basamento hidrogeológico	Acuífugo

Tabla I: Resumen de las formaciones hospedantes e hidroestratigrafía de la zona de estudio. Modificado de Santa Cruz (1998).

La secuencia estratigráfica de la región puede resumirse en una serie de paquetes de sedimentos de origen eólico [3] y fluvial [4], considerados como la primera Sección Epiparaneana que contiene los acuíferos Pampeano y Puelches [5].

La Formación Olivos estaría integrada básicamente por sedimentos continentales de textura limo-arenosos de colores claros, con bancos calcáreos y estructuras de nódulos, grumos, pisolitas y duricostras [6]. Luego, la Fm. Paraná presenta arenas compactas, homogéneas con fósiles marinos. La sección superior está dominada por arcillas, con pocas arenas, y



coloraciones verdosas y gris verdosas; son poco micáceas, algo calcáreas, pudiendo contener yeso, restos carbonosos y en general, abundante contenido fosilífero.

La Fm. Puelches está conformada por arenas generalmente finas, de color amarillento grisáceo, básicamente cuarzosas y generalmente teñidas por óxido de hierro (limonita); con predominancia de cuarzo en las facciones limo y arena, y una predominancia de la asociación montmorillonita-caolinita en la facción arcilla [6].

Finalmente, los Sedimentos Pampeanos se caracterizan por limos loessoides con predominio de materiales de origen volcánico (vitroclastos, piroclastos y fragmentos líticos de rocas volcánicas, pumíceas y de fenocristales de plagioclasa), con subordinada participación de cuarzo y feldespatos.

La necesidad de conocer la composición mineralógica de los sedimentos que componen la columna estratigráfica de la zona de estudio, se hace evidente al momento de interpretar correctamente el origen geoquímico de los elementos presentes en el agua analizada, en el que intervienen las interacciones agua-roca y los ciclos naturales de los elementos.

Metodología General

El presente trabajo expone los primeros avances en la determinación del fondo natural de la zona de estudio, por lo cual se mencionan las tareas realizadas hasta la fecha, que cumplen con:

- La identificación e inventario de zonas potencialmente útiles para el muestreo de sedimentos y aguas superficiales y subterráneas.
- El muestreo de cuerpos de agua superficiales y aguas subterráneas
- La determinación de parámetros in situ.
- El comienzo del armado de una base de datos hidroquímicos confiables y espacialmente distribuidos.
- Comenzar con la identificación de rangos de variación de las concentraciones de los componentes mayoritarios, minoritarios y trazas para establecer los valores superiores de las concentraciones del fondo natural y valores anómalos.

El trabajo de campo

Durante las diversas campañas llevadas a cabo para la obtención de las muestras de aguas subterráneas y superficiales, se midieron in situ los valores de pH, Conductividad Eléctrica (CE), Oxígeno Disuelto (OD), T°, Sólidos Disueltos Totales (TDS) y Potencial Redox (ORP) con la sonda multiparamétrica Hanna HI9828. También se llevaron a cabo mediciones de turbidez con el turbidímetro portátil TN-100/T-100.

Entre las determinaciones in situ, se obtuvieron valores de alcalinidad total, dureza total, hierro, sílice, oxígeno disueltos, y nitrito, utilizando los kits y el fotómetro V2000 de Chemetrics (ver Figura 2).

Todas las muestras fueron debidamente georreferenciados con GPS, y para su obtención se procedió según la existencia, o no, de bomba en el pozo. En los casos en que no se contó con



bomba, se utilizaron *bailers* de polietileno transparentes, extrayendo aproximadamente tres volúmenes de pozo, para evitar muestrear el agua estancada dentro del pozo. Para aquellos pozos que contaban con bomba, se dejó funcionar la misma por aproximadamente 15 minutos, y luego se tomaron las muestras de alguna canilla conectada directamente al pozo. Para el acondicionamiento se utilizó material descartable y guantes de nitrilo sin polvo, para evitar todo tipo de contaminación.

Las muestras fueron preservadas en ambiente fresco y protegidas de la luz solar.



Figura 2: A. Instrumental utilizado durante el muestreo. B. Trabajo de acondicionamiento de muestras in situ.

Análisis de datos

En total se registraron aproximadamente unos 40 pozos, cuyas muestras fueron enviadas al Laboratorio de Química Analítica en Medios Activos de la CNEA, para ser analizadas mediante ICP-MS, IC y FIMS, y así obtener las concentraciones de elementos mayoritarios y trazas.

Los resultados obtenidos a partir de las determinaciones in situ en la cuenca incluyen mediciones de pH, alcalinidad, CE, dureza y Nitrito. Las mismas se utilizaron para diseñar un SIG a partir de la digitalización de los cursos de agua con la base de datos asociada. Esta tarea permitió confeccionar mapas con curvas de isovalores para conocer la distribución areal de los distintos parámetros en la cuenca.

En la Figura 3, se presentan los mapas con los valores de conductividad tanto para el acuífero Pampeano, como para el Puelche. Para el primero, la conductividad alcanza valores que encuentran en el rango de 1000 a 350 $\mu\text{S}/\text{cm}$, encontrándose los mayores valores hacia el oeste y disminuyendo en la dirección de las líneas de flujo hacia el este. El acuífero puelche en cambio, presenta variaciones locales en las zonas de Lima, Baradero y San Antonio de Areco, que alcanzan los 900 $\mu\text{S}/\text{cm}$, y valores inferiores en las zonas aledañas.

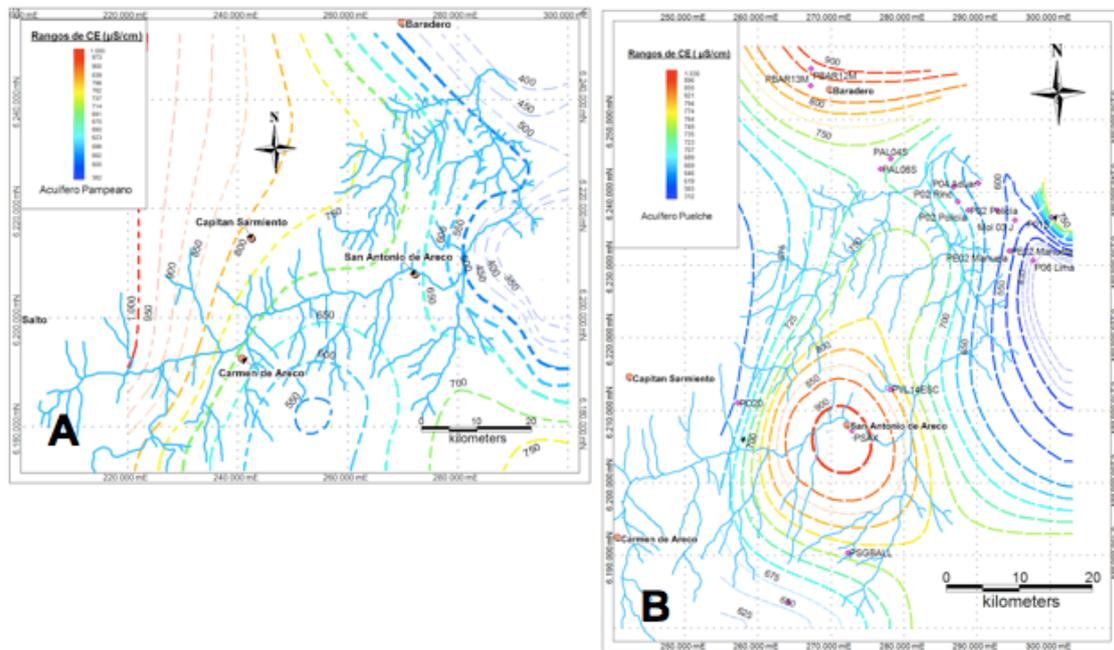


Figura 3: A. Mapa de isovalores de CE para el acuífero Pampeano. B. Mapa de isovalores de CE para el acuífero Puelche.

Los mapas de isovalores de dureza para los acuíferos antes mencionados, se muestran en las Figura 4. Para el acuífero Pampeano se distinguen dos zonas con los mayores valores de dureza, que rondan los 250 ppm CaCO_3 en la zona de Solís, y 350 ppm CaCO_3 para la ciudad de Lima, mientras que los mínimos se hallan al oeste de Carmen de Areco con valores que rondan los 100ppm CaCO_3 . El mapa correspondiente a las curvas de isovalores para el acuífero Puelche presenta tres zonas con máximos que van desde los 160 ppm CaCO_3 en las afueras de Alsina y Lima, hasta valores cercanos a los 250ppm CaCO_3 para toda el área del partido de San Antonio de Areco. Los mínimos más importantes se registran en las cercanías de San Andrés de Giles y Baradero.

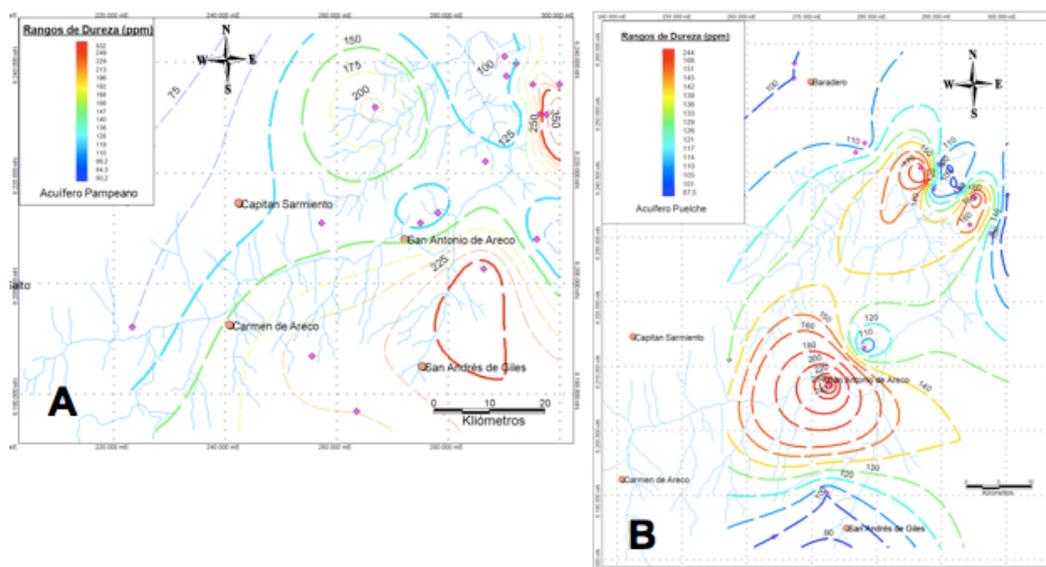


Figura 4:A. Mapa de isovalores de dureza para el acuífero Pampeano. B. Mapa de isovalores de dureza para el acuífero Puelche.



En cuanto a la alcalinidad (ver Figura 5), se observa para ambos acuíferos cierta tendencia regional, en donde los mayores valores se encuentran hacia el Oeste-Sudoeste y van disminuyendo en el sentido de las líneas de flujo hacia el Noreste. El acuífero Pampeano registra valores en el rango de 500 ppm en la zona de la cuenca alta a 70ppm en la zona de Lima. Para el acuífero Puelche los valores determinados son ligeramente altos, siendo los máximos cercanos a 600ppm en la misma zona que para el anterior

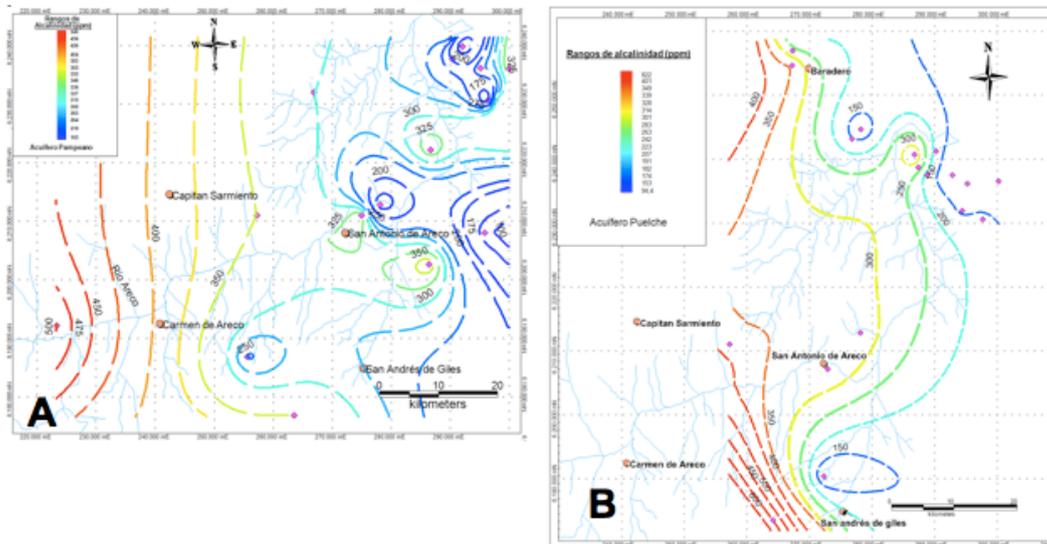


Figura 5:A. Mapa de isovalores de alcalinidad para el acuífero Pampeano. B. Mapa de isovalores de alcalinidad para el acuífero Puelche.

El pH se comporta de manera similar que la alcalinidad en toda la zona, para ambos acuíferos. La Figura 6A muestra los mayores valores hacia el Oeste de Carmen de Areco, que alcanzan los 8,2. Para el Puelche (ver Figura 6B), los máximos valores presentes en el mapa no superan los 8 o 7,85 según la zona. Los menores valores de pH para ambos acuíferos se registran en la zona de Lima y San Antonio de Areco.

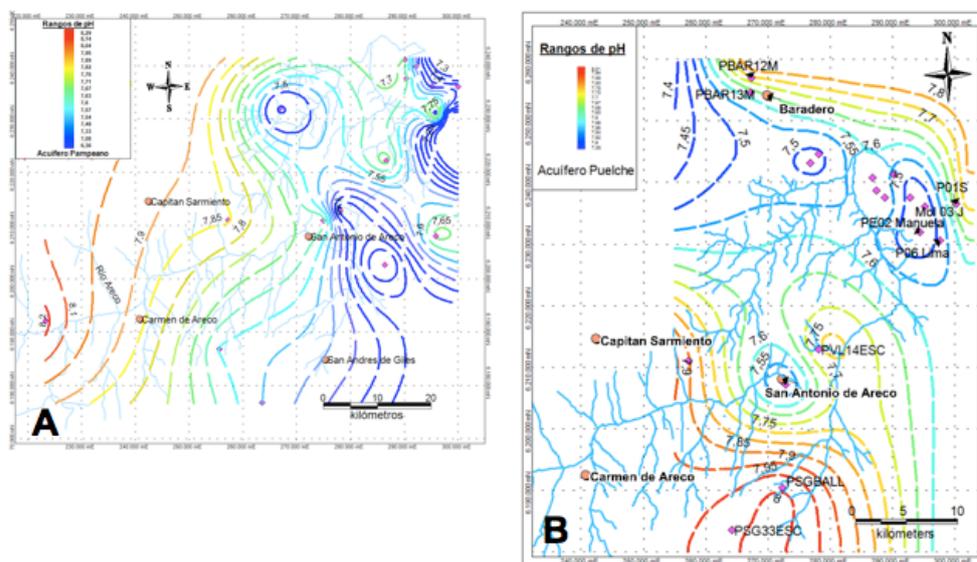


Figura 6:A. Mapa de isovalores de pH para el acuífero Pampeano. B. Mapa de isovalores de pH para el acuífero Puelche.



Se trazaron las curvas de isoconcentración de Nitrito, valores que se obtuvieron utilizando los viales de Chemetrics y el fotómetro *in situ*. Según lo que puede observarse en la Figura 7A, el acuífero Pampeano presenta un máximo que abarca toda la zona sur, lo que incluye a los partidos de Carmen de Areco y San Andrés de Giles, en donde los valores alcanzan los 0,06ppm. El acuífero Puelche en cambio, presenta un máximo muy marcado entre las ciudades de Baradero y Lima, y hacia el sur se observan los menores valores que no superan los 0,018ppm.

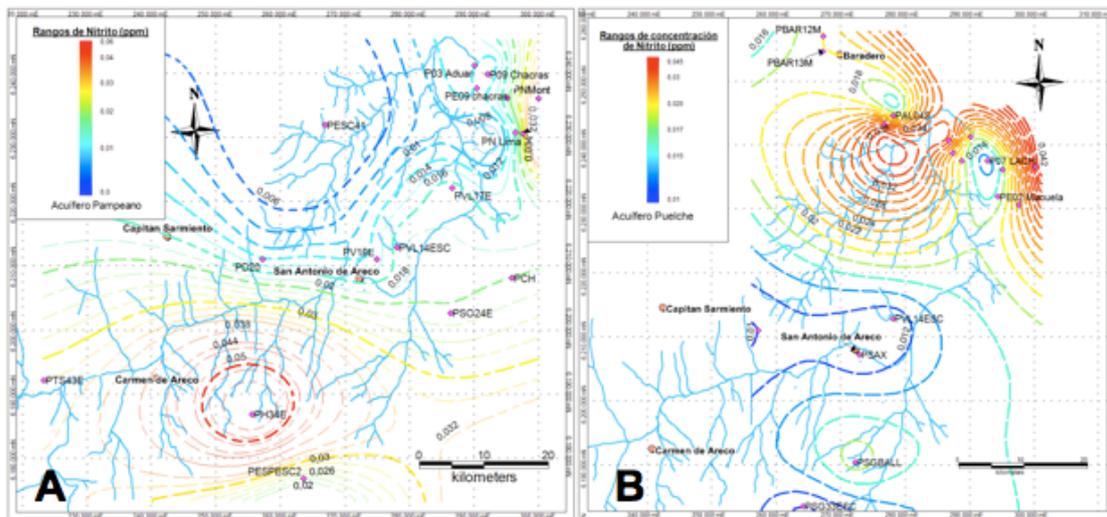


Figura 7:A. Mapa de isovalores de nitrito para el acuífero Pampeano. B. Mapa de isovalores de nitrito para el acuífero Puelche

Por último se obtuvieron los mapas de isovalores de TDS para los dos acuíferos estudiados. En la Figura 8, puede observarse que el acuífero Pampeano presente máximos levemente superiores a los del acuífero Puelche, con valores que alcanzan los 585 ppm para el primero, y 570 para el segundo. Los mínimos, para ambos acuíferos se distinguen en las zonas aledañas al Paraná de las Palmas, en el partido de Exaltación de la Cruz, al Este de San Antonio de Areco.

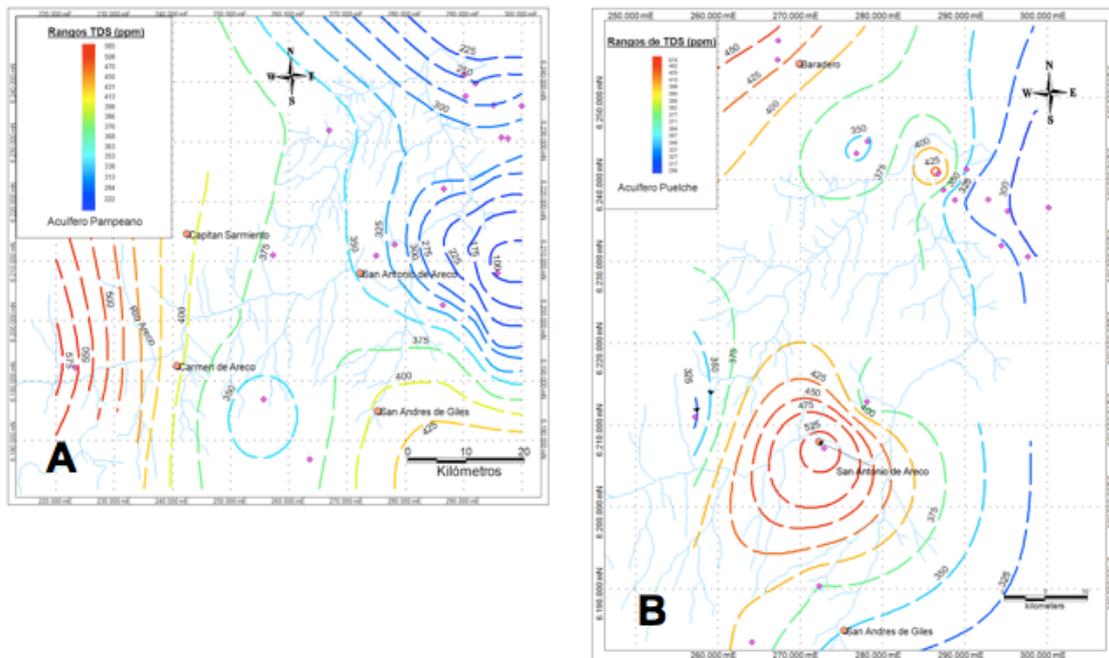


Figura 8: A. Mapa de isovalores de TDS para el acuífero Pampeano. B. Mapa de isovalores de TDS para el acuífero Puelche

DISCUSIÓN

Las actividades antrópicas que se realizan en superficie y los cambios en los usos del suelo pueden causar un gran impacto sobre las aguas subterráneas, afectando su calidad. En zonas pobladas y con un uso intensivo de los recursos naturales, es importante la evaluación de las características hidrogeológicas, para prevenir la degradación de la calidad de los recursos subterráneos. Uno de los parámetros que puede reflejar esta situación de cambio es la conductividad eléctrica (CE) que puede ser indicativa de diversos procesos que ocurren en el acuífero y que se utiliza para llevar a cabo una primera aproximación al escenario de cambio que acontece en este sistema subterráneo [7].

Las variaciones de CE del agua subterránea en el acuífero pampeano están condicionadas por las precipitaciones, los usos del suelo y sus modificaciones. La tendencia observada en los mapas de isoconductividad indicaría variaciones de la misma según las líneas del flujo de agua subterráneo. En cuanto al Acuífero Puelche, el máximo que supera los $1000\mu\text{S}/\text{cm}$ podría atribuirse a dos factores meramente locales, los cuales serían la mezcla de aguas del acuífero Puelche con aguas del acuífero Paraná, o la influencia de la baja topografía local.

El intercambio catiónico es el proceso que genera que algunas sustancias cambien iones por los existentes en el agua. Se debe principalmente a la presencia de arcillas, materia orgánica, etc, con cargas superficiales generalmente no equilibradas. Cuando se trata de cationes con la misma valencia existe un orden de preferencia en la adsorción siendo el Ca^+ el de mayor preferencia frente al Mg^+ , y los cationes divalentes son más fuertemente adsorbidos que los monovalentes, como el Na^+ .

Teniendo en cuenta la composición mineralógica de los sedimentos que constituyen la columna estratigráfica en toda la zona, conformada en un gran porcentaje por silicatos, los



productos de la alteración de los mismos y la presencia de concreciones de calcio y magnesio; y la composición de las aguas subterráneas de tipo bicarbonatada sódica, podría asumirse la existencia de procesos de intercambio iónico, lo que pone en evidencia que el agua subterránea no se encuentra totalmente en equilibrio con el sustrato. Los valores de dureza total obtenidos para cada acuífero indican variaciones espaciales posiblemente vinculadas a la heterogeneidad de los sedimentos en el área. Para el caso del acuífero Puelche, los máximos se ubican en las mismas zonas que los máximos de CE, no siendo así para el acuífero Pampeano.

Si bien el acuífero Pampeano y el acuífero Puelche presentan diferencias (sedimentológicas e hidráulicas), las similitudes en los aspectos hidrodinámicos e hidroquímicos, este último evidenciado en el comportamiento para parámetros como la alcalinidad, permiten inferir una comunicación hidráulica entre ambos, lo que deriva en similitudes de salinidad y composición química. Respuestas análogas fueron halladas por Pariani et al, en la cuenca del río Luján que pertenece al sistema de sub-cuencas que desaguan en el Paraná y se encuentra contigua al SE de la cuenca del río Areco.

En cuanto a la alcalinidad y pH, ambos acuíferos muestran la misma tendencia regional, en donde los máximos valores se ubican en los bordes de cuenca, donde se produce la recarga, disminuyendo en el sentido de las líneas del flujo subterráneo, hacia las zonas de descarga.

El nitrógeno puede aparecer en forma de NH_3 , NH_4 y por oxidación, estas formas reducidas pueden transformarse en NO_2 y finalmente en NO_3 que es la forma más usual y estable [8]. El ión nitrito puede estar presente en las aguas bien como consecuencia de la oxidación del NH_3 o como resultado de la reducción microbiana o no de los nitratos. Su presencia en el agua debe considerarse como un indicio fundado de una posible contaminación reciente (dada su inestabilidad). No obstante, la sola presencia de nitrito y amonio en el agua subterránea no debe ser considerada como resultado de una contaminación sin analizar las posibles causas de su presencia, dado que en un acuífero las condiciones de oxidación no son siempre favorables y estos iones, incorporados de manera natural al acuífero, pueden mantenerse durante cierto tiempo en el equilibrio con su forma oxidada, el nitrato. Los horizontes acuíferos freáticos en territorios del trópico y subtropical donde existen altas temperaturas y abundantes precipitaciones atmosféricas, están expuestos a una fácil contaminación de origen orgánico, tanto por la descomposición de la materia orgánica que se encuentra en los suelos como por residuos fecales de origen animal o humana que de forma directa o indirecta se depositan en la corteza terrestre [9].

El relevamiento de las diversas actividades que se desarrollan en la cuenca en estudio ha permitido confeccionar un mapa con las posibles fuentes de solutos de origen antrópico, para analizar la posibilidad de la existencia de fuentes que modifican el FN (ver Figura 9). Allí puede observarse que las máximas concentraciones de nitrito coinciden con la ubicación de los criaderos avícolas de la zona, que se extienden a lo largo de la Ruta Nacional Nro. 7 desde Tres Sargentos hasta San Andrés de Giles. Si bien esta hipótesis planteada se encuentra fuertemente sustentada según lo hallado por De Miguel-Fernandez; el conocimiento del tipo



de producción que genera una contaminación puntual debido a la elevada concentración de animales por superficie y la ubicación estrechamente sectorizada en una determinada porción de la cuenca, es necesario para confirmarla, la realización de estudios más profundos del aporte de solutos de esta actividad al sistema.

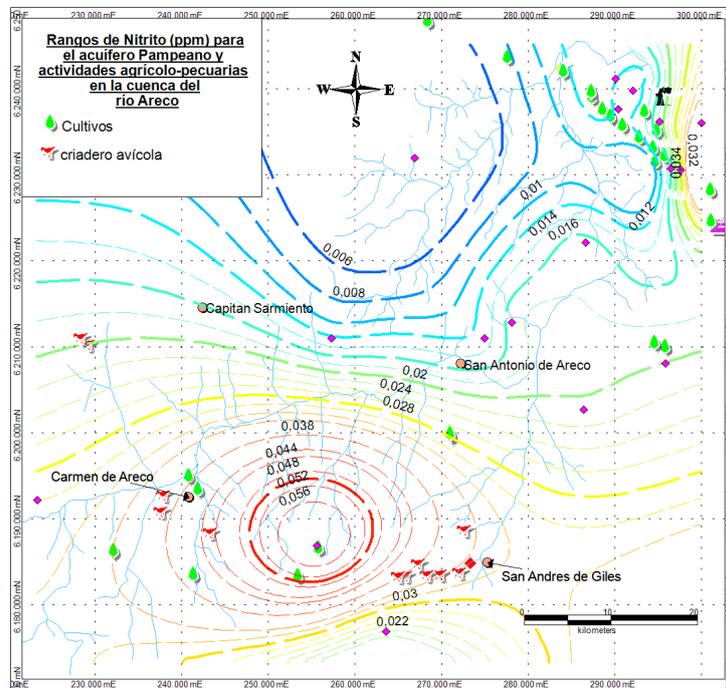


Figura 9: Mapa de isovalores de nitritos y su correlación con las actividades agrícola-pecuarias en la cuenca del río Areco para el acuífero Pampeano

Por último, realizando una comparación entre la distribución de las curvas de isoconductividad con las de isovalores de TDS, se observa que existe una gran correlación entre las mismas, ya que ambas se comportan similarmente. Esto confirmaría la relación proporcionalmente directa entre estos parámetros, ya que altas conductividades estarían indicando una alta concentración de sólidos disueltos en el agua.

PERSPECTIVAS

En vistas al progreso y mejoramiento del conocimiento del sistema acuífero Pampeano-Puelche en la zona de estudio, y de la necesidad de conocer el fondo químico natural de las aguas subterráneas en la cuenca del Río Areco, se proponen los siguientes...que ayudarán a definir y comprender el origen de los solutos presentes en el sistema:

- ✓ Continuar con la recopilación de información físico-química de las aguas, para establecer series temporales, que en un futuro podrán ser utilizadas para establecer e identificar procesos modificadores.
- ✓ Comenzar con el muestreo de agua de lluvia para conocer la composición del agua previo a su entrada y paso por los sedimentos.



- ✓ Comenzar con el muestreo de agua en la zona no saturada a distintas profundidades, para conocer la composición del agua en la zona de tránsito hacia el acuífero, y comprender los procesos agua roca que tiene lugar allí.
- ✓ Realizar análisis de isótopos estables como O^{18} , y C^{14} para conocer la edad del agua subterráneas del sistema y así poder definir las zonas útiles para el muestreo.
- ✓ Utilizar la modelación hidrogeoquímica para conocer los procesos que incorporan solutos a las aguas subterráneas.
- ✓ Continuar con los estudios de la hidráulica de los acuíferos estudiados, para la determinación de los parámetros hidráulicos que permitirán definir el movimiento del agua subterránea, la distribución de edades, y la escala de tiempo de residencia del agua en los acuíferos.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Manzano Arellano, M., Custodio G., Emilio, Nieto López-Guerrero, P. 2004 El fondo natural del agua subterránea. Definición establecimiento y papel en la directiva marco del agua, <http://hdl.handle.net/10317/598>.
- [2] Daus F. 1946 Morfología general de las llanuras argentinas. Geografía de la República Argentina. An. Soc. Argent. Estud. Geogr. 3:115-118.
- [3] Gonzalez 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. Revista de la Asociación Geológica Argentina XX: 67-148.
- [4] Santa Cruz J. 1972. Estudio sedimentológico de la Formación Puelches en la Provincia de Buenos Aires. Revista de la Asociación Geológica Argentina 27(1):5-62.
- [5] Sala, J.M.; González N. y Kruse E. 1983. Generalización hidrológica de la Provincia de Bs. As. Coloquio Internacional sobre Hidrología de Grandes Llanuras. Comité Nacional para el Programa Hidrológico Internacional. Olavarría, Argentina.
- [6] Pereyra, F.; Tchilinguirian, P.; Baumann, V., Hoja geológica Gualeguaychú: hoja 360-IV. Descripción geológica. Instituto de Geología y Recursos Minerales; Servicio Geológico Minero Argentino. Vol.: 335 (2002).
- [7] Rodriguez C., Carlos D., Calvache M.L. y López-Chicano, M., 2010. Causas de las variaciones de la conductividad eléctrica del agua subterránea en el acuífero Motril-Salobreña, Geogaceta, 49 (2010), 107-110 ISSN: 2173-6545, España.
- [8] De Miguel, F. C.; 1999, Hidrogeología Aplicada, Editorial "Félix Varela", La Habana. 453 Páginas.
- [9] De Miguel-Fernandez, C., Vázquez-Taset, Y. M. 2006. Origen de los nitratos (NO_3) y nitritos (NO_2) y su influencia en la potabilidad de las aguas subterráneas. Minería y Geología, vol. 22, núm. 3, julio-septiembre, 2006, pp. 1-9 Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa 'Dr Antonio Nuñez Jiménez' Holguín, Cuba.



Estudio con trazadores en las aguas costeras del Departamento de Montevideo

R. Suárez Ántola ^{1,2}

¹ Centro de Investigación y Desarrollo, Universidad Católica del Uruguay

² Dirección General de Secretaría, Ministerio de Industria, Energía y Minería, Uruguay
roberto.suarez@miem.gub.uy; robertosua@gmail.com

RESUMEN

Durante un estudio de la dinámica y renovación del agua en la bahía de Montevideo que involucró el empleo de trazadores radioactivos y fluorescentes, se identificó un proceso de difusión de rompientes en las aguas costeras adyacentes. Este proceso permitió explicar la contaminación residual de las playas luego de puesto en funcionamiento el emisario subacuático de Punta Brava. Para distinguir entre los aportes del emisario y los aportes de la bahía se realizaron estudios de la dinámica de la contaminación en las aguas costeras influida por los aportes debido a la bahía en simultáneo con un estudio de la dinámica de la pluma de descarga del emisor subacuático de Punta Brava (que actualmente colecta la totalidad de las aguas servidas de Montevideo al este de la bahía). Durante los trabajos se descubrió un efecto de trampa que presenta la playa Pocitos. Se investigó este efecto empleando trazadores fluorescentes: se estudiaron las primeras etapas de un episodio de contaminación simulado mediante el vertido de un trazador y se estimaron las características micro-hidrodinámicas locales mediante un análisis de la dimensión fractal de los bordes de las manchas de trazadores fluorescentes vertidos en esa playa. Se determinó la capacidad de autodepuración de las aguas costeras del Río de la Plata en la región de Punta Lobos, donde se ha previsto ubicar el segundo emisario subacuático de la ciudad de Montevideo. Se efectuó un estudio de dinámica de sedimentos en la bahía de Montevideo empleando trazadores radioactivos y se obtuvo información relacionada con procesos de dragado, en vista de su posible optimización.

INTRODUCCIÓN

Las aguas costeras cuyo estudio motiva el presente trabajo se encuentran ubicadas en la margen izquierda del Río de la Plata, en el inicio de la región externa de este singular curso de agua (Figura 1).



Figura 1. Izquierda: Los ríos Paraná y Uruguay forman el Río de la Plata, dividido en tres regiones (interna, intermedia y externa). Derecha: El departamento de Montevideo y sus aguas costeras se encuentran en el comienzo de la región externa.

La marea, las descargas fluviales y los vientos presentan efectos variables sobre la dinámica del agua en el Río de la Plata en general y de las aguas costeras de Montevideo en particular, pero de un mismo orden de magnitud. Como consecuencia, tanto desde un punto de vista hidrológico como ambiental, las aguas costeras de Montevideo configuran un sistema complejo y cambiante que complica el control de la calidad del agua de las playas. Con un cordón de 67 km, en el cual puntas pedregosas se alternan con arcos arenosos, las playas del Departamento de Montevideo fueron y son una de las referencias obligadas para el recreo de los montevideanos.

El relieve de Montevideo presenta ondulaciones, con algunas alturas suaves. Por ello está cruzado por numerosos y por lo general pequeños cursos de agua. Esta red hidrográfica tiene mucha importancia porque ha condicionado fuertemente el desarrollo del saneamiento y la disposición final de las aguas servidas de la ciudad. Con excepción de una faja costera de un ancho de unos 3 km, que vierte directamente hacia el Río de La Plata, el resto de la ciudad drena hacia tres arroyos. El Pantanoso, con 16 km de extensión total y una cuenca de 66.4 km² y el Miguelete, de 21,5 km de extensión y una cuenca de 113 km², desaguan en la Bahía de Montevideo. El arroyo Carrasco, de 14 km de extensión y una cuenca de 213 km² recoge aguas de extensas áreas pobladas del este y noreste de Montevideo y las vuelca en el Río de La Plata (Figura 2).

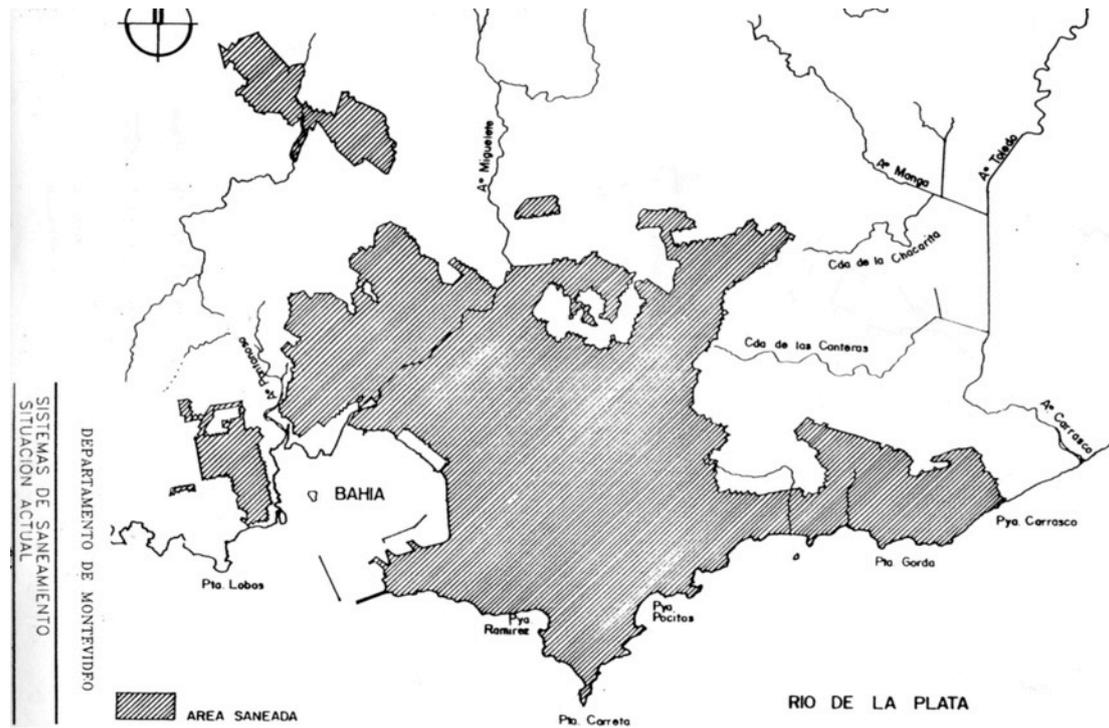


Figura 2. Esquema del saneamiento de Montevideo en el periodo 1991-1995. Se indican los arroyos Carrasco (desembocando en el Río de la Plata al Este), Pantanoso y Miguelete desembocando en la bahía. En Punta Carreta se encuentra el actual emisario sub-acuático, mientras que en Punta Lobos, en el extremo Oeste de la boca de la bahía, se ubicará un segundo emisario sub-acuático

Estos tres cursos de agua están contaminados y degradados por numerosas descargas de aguas servidas domésticas y residuales industriales, así como también por basurales. La existencia en la zona de decenas de industrias, cuyos efluentes llegaban hasta hace pocos años, directa o indirectamente al curso de agua constituye uno de los factores determinantes de la contaminación de la Bahía de Montevideo (Figura 3).

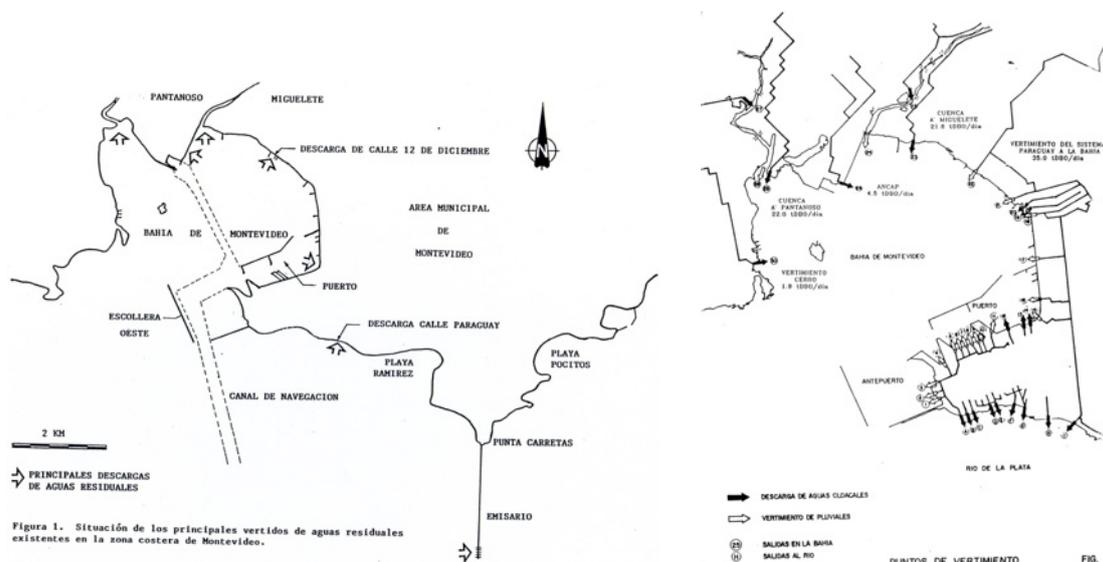


Figura 3. Esquemas de descargas de aguas residuales, cloacales y pluviales, en la bahía y la costa al Este de la boca de la bahía en el periodo 1991-1995. Se indican los arroyos Miguelete y Pantanoso y el emisario subacuático. A la izquierda del canal de conexión del puerto con el muelle de la refinera de petróleo se observa la isla Libertad. En el esquema de la derecha se indican algunos aportes de contaminantes a la Bahía de Montevideo, estimados en toneladas de DBO por día.



En 1990 comienza a funcionar el emisario subacuático, que recolecta las aguas y las vuelca río adentro, a una distancia de 2.200 metros al sur de Punta Brava (Punta Carretas). La calidad de las aguas de las playas de Montevideo mejora con la entrada en servicio del emisor subacuático, pero menos de lo esperado.

En noviembre y diciembre de 1991 se llevó a cabo, coordinada desde la Dirección Nacional de Tecnología Nuclear, y en el marco de un proyecto nacional de cooperación técnica con el OIEA, una investigación experimental de la dinámica y renovación del agua en la Bahía de Montevideo [1]. Se utilizó tritio como trazador principal. Se obtuvieron resultados que sugerían que los contaminantes presentes en las aguas de la bahía (disueltos o integrados en sedimentos en suspensión) podían afectar la calidad de las aguas de las playas situadas al Este. Dada la importancia que este proceso podría tener, se suspendió el estudio de dinámica de sedimentos en la bahía y se decidió estudiar la dinámica de las aguas costeras al Este de la boca de la bahía. Esa investigación se llevó a cabo en marzo y abril de 1993, a solicitud de autoridades de la Universidad de la República, utilizando tritio y fluoresceína sódica, también conocida como uranina. Simultáneamente, respondiendo a una solicitud del gobierno de Montevideo, se llevó a cabo un estudio experimental de la ubicación y la estabilidad de la pluma de descarga del emisario subacuático de Punta Brava, utilizando 131-I como trazador, para poner a prueba la hipótesis según la cual dicho emisario no sería el causante de la contaminación residual observada en las playas de Montevideo, situadas al Este de la boca de la bahía, durante la temporada estival [2], [3].

Como puede verse en las Figuras 2 y 3, inmediatamente hacia el Este de Punta Carretas (Punta Brava) se encuentra la Playa Pocitos. Los resultados de los estudios de los procesos de transporte a lo largo de la franja costera sugerían que esa playa presenta un considerable efecto de trampa, debido probablemente a la perturbación que la Punta Brava produce sobre el flujo de las aguas costeras. Un accidente de contaminación que se produzca en la capa superior de las aguas costeras adyacentes a la Playa Pocitos, si bien adquiriría un carácter marcadamente local, por eso mismo podría tener consecuencias graves en esa zona. Por este motivo en marzo, abril, mayo y junio de 1995 se investigó el efecto de trampa en la playa Pocitos y se determinaron los parámetros de dispersión en las aguas costeras del Montevideo adyacentes a Punta Brava [4], [5]. Durante algunos experimentos preliminares se observaron efectos de histéresis muy marcados (la forma inicial de la mancha de trazador influía considerablemente en la posterior dinámica de la dispersión, hasta que la mancha de trazador superaba los 500 metros). Para minimizar el efecto de histéresis se ideó un nuevo procedimiento de inyección del trazador, que se empleó en los experimentos definitivos. Por otra parte los resultados de esos experimentos preliminares sugerían prestar atención a algunos detalles de la microcirculación en la capa de agua superior (particularmente en superficie), e intentar cuantificar un posible efecto de escala asociado al proceso de



dispersión en esa capa. Para estudiar la microcirculación se efectuó una grabación de video de la evolución de una mancha de Fluoresceína Sódica, a bordo de un helicóptero y con cámaras especiales. La digitalización de la imagen permite aplicar técnicas de geometría fractal a los bordes de la mancha [6].

En 1996 y 1997 se llevó a cabo un estudio experimental de la dinámica de sedimentos en la Bahía de Montevideo y en las zonas de descarga del material dragado, que había sido postergado luego de las campañas de 1991 para el estudio de la dinámica y renovación del agua. Se utilizó ¹⁹⁸Au como trazador para sedimentos en suspensión y ¹⁹²Ir para sedimentos de fondo. Se determinaron perfiles verticales de distribución de sedimentos, en suspensión y acumulados en la cántara de una draga de succión, empleando una sonda nuclear construida especialmente para este fin en el marco de un proyecto nacional de cooperación técnica con el OIEA [7].

Finalmente, nuevamente respondiendo a una solicitud del gobierno de Montevideo, en junio y julio de 2001 se estudió la capacidad de autodepuración de las aguas costeras de Montevideo en la región de Punta Lobos, en vista de la instalación de un segundo emisario sub-acuático. Se utilizaron Rodamina WT como trazador principal, uranina como trazador secundario y una población bacteriana de *E. coli* como contaminante microbiológico representativo [8].

MÉTODOS Y DESARROLLO EXPERIMENTAL

Durante las campañas de estudio de la dinámica y renovación del agua en la Bahía de Montevideo se efectuaron:

Mediciones de perfiles de temperatura y conductividad en diferentes estaciones de muestreo en la bahía.

Medida de flujos de agua utilizando trazadores fluorescentes.

Marcado del compartimento noroeste de la bahía (situado por encima de una línea que une el espigón F del puerto con la isla Libertad) empleando 100 Ci de agua tritiada como trazador. El trazador se diluyó en 200 litros de agua de la bahía. Se inyectó en forma continua, mediante una bomba peristáltica, durante 5 horas, en el rastro de la barca utilizada.

Marcado del vertido de aguas servidas del colector 12 de diciembre con ¹³¹I.

Para el procesamiento de los datos y su representación matemática, la bahía se subdividió en celdas a cuyos puntos medios (correspondientes a estaciones de muestreo) se les asignaron perfiles de temperatura, conductividad y concentraciones de tritio (Figura 4).

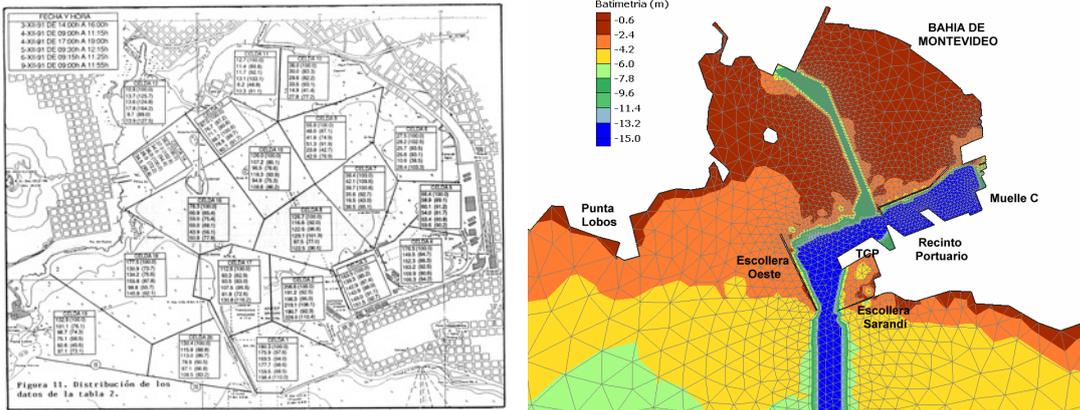


Figura 4. Izquierda: sub-división de la bahía en celdas. Derecha: detalles batimétricos relevantes.

Además, se midieron las concentraciones de tritio en puntos de muestreo distribuidos a lo largo del cinturón de playas situadas al Este de la boca de la bahía.

Durante las campañas de marcado y estudio de la distribución de las aguas contaminadas que escapan de la bahía de Montevideo se efectuó un estudio de tipo euleriano, sobre cinco transectas fijas, con seis puntos de muestreo en cada transecta, separados por 1 km, y comenzando siempre con un punto en la costa [2], [3].

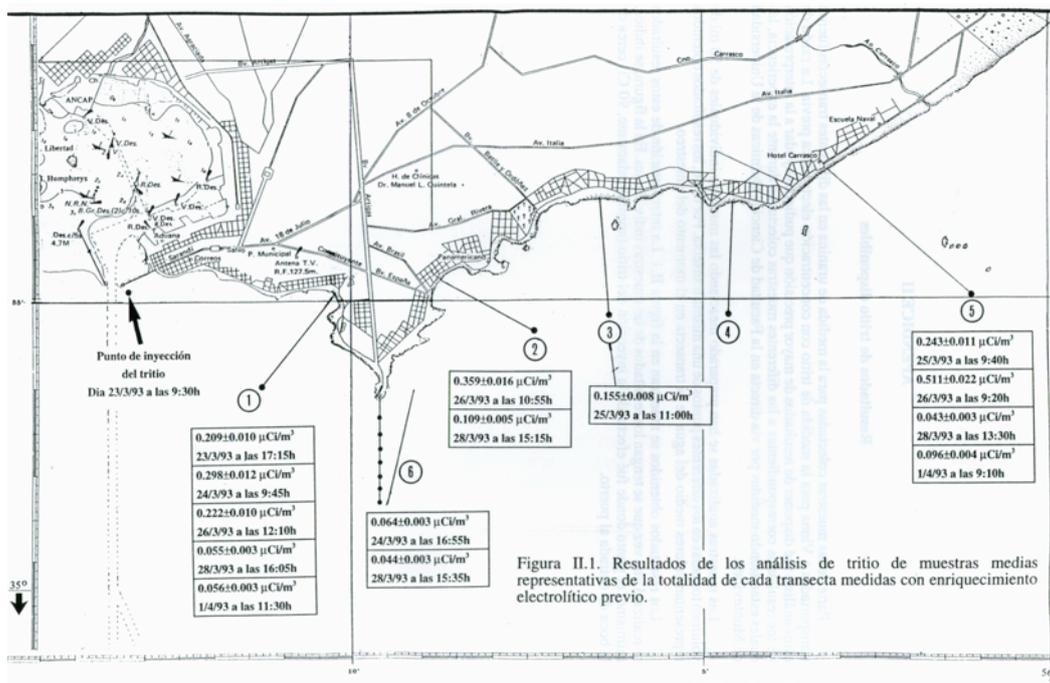


Figura II.1. Resultados de los análisis de tritio de muestras representativas de la totalidad de cada transecta medidas con enriquecimiento electrofítico previo.

Figura 5. Ubicación del punto donde se inyectaron en forma súbita 100 Ci de agua tritiada y de las transectas donde se determinaron concentraciones de tritio, conductividad y temperatura durante tres semanas.

Durante las campañas de marcado y estudio de la pluma de descarga del emisario subacuático de Punta Brava se realizó un estudio de tipo lagrangiano [2]. En la referencia [9] y en su bibliografía se pueden encontrar detalles sobre las técnicas empleadas. Se efectuaron dos campañas. En cada una se inyectó una solución de yoduro de potasio marcada con ^{131}I en una de las piletas de tratamiento previas al emisario, durante 2 h 45 min, a razón de 0.5



l/min. La concentración del trazador era $1377 \mu\text{-Ci}/\text{m}^3$. Se siguió el despliegue de la pluma de descarga marcada durante ocho horas cada vez, a tiempo real, utilizando detectores de centelleo. La pluma fue detectada y medida en cinco ocasiones, hasta que la dilución del trazador impidió continuar con las mediciones. Se utilizaron biplanos y uranina para posicionamiento y mediciones de velocidad del agua.

Durante las campañas de simulación de un accidente de contaminación en la playa Pocitos, se inyectaron en forma localizada y súbita soluciones de uranina y se midió el transporte advectivo y la dispersión de las manchas de colorante. Se repitieron los experimentos en las cercanías del emisario subacuático. Al principio, se aplicaron técnicas de medición a bordo de las concentraciones de trazador, en condiciones de flujo continuo mediante un fluorímetro, durante una secuencia de maniobras de navegación efectuadas sobre la mancha en cada una de las etapas de evolución seleccionadas. Estas técnicas no permiten suficiente resolución espacial para estudiar el mencionado efecto de histéresis y detalles debidos a los efectos de micro-circulación. Por este motivo se decidió registrar la mancha de trazador, por medios ópticos y desde el aire, para estudiar posteriormente la estructura de sus bordes mediante herramientas de análisis de patrones bidimensionales. Con el propósito de disminuir lo más posible la histéresis, se diseñó y construyó un corral para la inyección de trazadores [4], que resultó muy eficaz, por lo cual fue utilizado en las campañas siguientes (Figura 6).

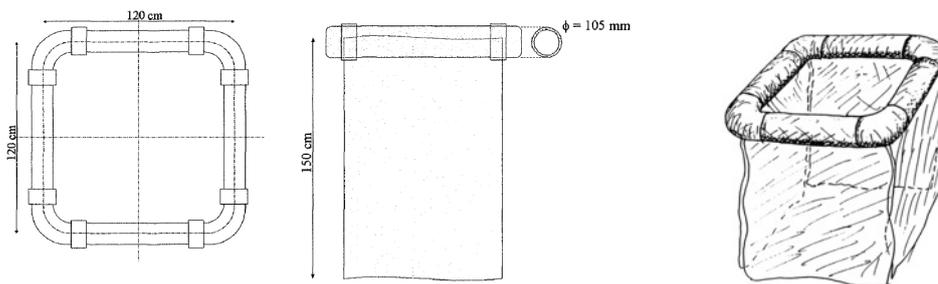


Figura 6. Corral para inyectar trazadores de modo de minimizar efectos de histéresis y facilitar la investigación de los efectos de escala en aguas costeras.

Para determinar los parámetros de la dispersión se efectuaron dos inyecciones en la capa superior del cuerpo de agua estratificado y una inyección en el cuerpo no estratificado. Se describió el efecto de escala suponiendo un coeficiente de dispersión horizontal del tipo

$E_h \approx A \cdot r^q$ donde q representa el parámetro de efecto de escala. Para estimar q se aplicó el método de los círculos equivalentes [10]. Se utilizó el modelo de Joseph y Sendner [4] [10] para estimar la cantidad de trazador a inyectar en la capa superior del cuerpo de agua (es decir, se asumió a priori $q=1$ para el diseño de los experimentos).

Durante las campañas de dinámica de sedimentos se efectuó el seguimiento del material dragado marcado y descargado por la draga. Se determinaron parámetros de dispersión de la nube de partículas en suspensión, se estimaron tasas de sedimentación y se estudió el movimiento del material sedimentado. Se efectuaron mediciones relacionadas con la profundidad náutica y con la optimización del tiempo de bombeo en dragas de succión [7].



Durante las cuatro campañas destinadas a estudiar la capacidad de autodepuración de las aguas costeras de Montevideo en la región de Punta Lobos, en todos los casos se inyectó, en la zona prevista para el emisario subacuático, en forma súbita y puntual, una masa de efluente conteniendo la población bacteriana, acompañada de un trazador fluorescente y conservativo (rodamina WT) para determinar la dilución por el proceso de advección dispersión. El objetivo final fue obtener una estimación del T_{90} bacteriano en diferentes escenarios. Se utilizó uranina como trazador secundario cualitativo, para visualizar la ubicación del vertimiento efectuando marcados sucesivos al finalizar cada etapa de mediciones. En cada etapa se tomaron muestras para determinar unidades formadoras de colonias y concentración del trazador en laboratorio. Además se determinó la posición de cada punto de toma de muestras, los perfiles verticales de velocidad de corriente, de temperatura y de conductividad, la velocidad local del viento, la turbidez del cuerpo de agua, el pH, la DBO y otras variables características de cada escenario en el que se produce la advección, la dispersión y la inactivación bacteriana.

Generalmente se supone que la concentración bacteriana $c_b(t)$ decae en función del tiempo t según la fórmula establecida por Phelps [11] para los ríos: $c_b(t) = \frac{c_b(0)}{D(t)} \cdot e^{-K_b \cdot t}$ siendo $T_{90} \cong \frac{2.3}{K_b}$ y $D(t)$ la dilución. Un trazador conservativo de concentración $c_T(t)$ permitiría medir la dilución: $D(t) = \frac{c_T(0)}{c_T(t)}$. Entonces ajustando los parámetros de la fórmula $\log_e \frac{c_b(t)}{c_T(t)} \approx -K_b \cdot t + \log_e \frac{c_b(0)}{c_T(0)}$ a los datos experimentales, se hallaría el parámetro de autodepuración K_b .

Debido a las variaciones que presentan las aguas costeras de Montevideo, la fórmula de Phelps para estimar el T_{90} bacteriano no resulta directamente aplicable en la práctica. Según la profundidad a la que se encuentre un micro-organismo, la turbidez del agua, la estación del año, la cobertura de nubes y la hora del día, va a ser la tasa de dosis de radiación solar que va a estar recibiendo (UV y visible). Asimismo, el daño por choque osmótico depende de la distribución de salinidad en el cuerpo de agua receptor, de los cambios de posición del micro-organismo arrastrado por los movimientos del agua y de su tendencia a sedimentar. Por este motivo se construyó un modelo matemático para describir el transporte de una población de micro-organismos en un cuerpo de agua estratificado, teniendo en cuenta procesos de advección, dispersión, sedimentación e interacciones con el fondo del estuario. Se introduce un parámetro local de autodepuración $K_b(t, x, y, z)$ que depende de las coordenadas cartesianas de posición x, y, z y del tiempo t . Para un cuerpo de agua sin piso difusivo (sin una picnóclina marcada), pero con salinidad variable en profundidad, se obtiene, luego de



introducir algunas simplificaciones ($K_b(t, x, y, z) = K_b(z)$ siendo z la coordenada vertical, y una columna vertical de agua de profundidad constante H), se obtiene la siguiente fórmula asintótica, donde $c_b(t, x, y, z)$ es la concentración bacteriana y $c_T(t, x, y, z)$ es la concentración de trazador conservativo [12]:

$$\log_e \left(\frac{\int_0^H c_b(t, x, y, z) dz}{\int_0^H c_T(t, x, y, z) dz} \right) \approx -k_{o,b}^2 \cdot t + \log_e \left(\frac{M_{o,b}}{M_{o,T}} \cdot \frac{A_{b,o}}{A_{b,T}} \right) \quad k_{o,b}^2 \approx \frac{\int_0^H K_b(z) dz}{H} + \frac{2}{t_s} \cdot \left(1 - \frac{\tau_b}{\tau_c} \right)$$

Si hay un piso difusivo la integración se lleva a cabo entre la superficie y la cota h de la picnóclina. Además, en este caso en el término relacionado con la sedimentación no aparecen el cociente entre el esfuerzo de cizalla τ_b sobre el fondo del estuario y el valor crítico τ_c de ese esfuerzo, por encima del cual la erosión con re-suspensión se impone al depósito por sedimentación. Según este modelo, lo que se puede determinar como una estimación de la capacidad de auto-depuración a partir de los datos experimentales, es el parámetro $k_{o,b}^2$.

Este parámetro permite definir un T_{90} equivalente así: $T_{90} = \left(\frac{2.3}{k_{o,b}^2} \right)$

RESULTADOS

La dinámica del agua en la bahía se puede simplificar asumiendo la presencia de dos flujos separados, cuyas características dependen de la ubicación variable del extremo de la cuña salina en las aguas costeras de Montevideo: un flujo de agua de baja conductividad que ocupa una capa de menos de 4 m de profundidad y un flujo de agua de conductividad más elevada que ocupa las zonas con profundidades mayores a los 4 m. Este último flujo penetra a través del canal de acceso al puerto. El otro flujo penetra preferentemente a través de la boca Oeste. La estratificación del agua en la bahía es permanente, lo cual debe ser tomado en cuenta al construir modelos matemáticos para la simulación de la dinámica y la renovación del agua.

Durante la marea creciente el patrón de flujos en la bahía es variable, dependiendo de los vientos, pero en promedio corresponde a una fase de llenado.

Durante la marea decreciente el flujo que desciende por el estuario, próximo a la costa, es desviado por la escollera Oeste y se divide en dos. Se produce entonces un flujo secundario que pone en movimiento a una parte significativa del agua de la bahía bajo la forma de un flujo circular en el sentido de las agujas del reloj: este movimiento es el principal responsable del mezclado y de la renovación del agua (Figura 7).

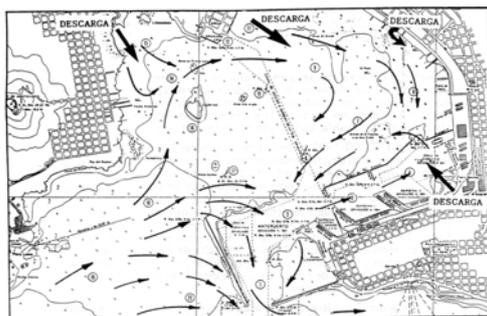


Figura 13. Esquema de flujos más frecuente en la bahía durante los periodos de marea decreciente.

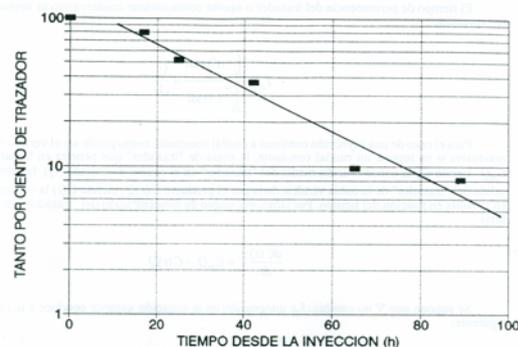


Figura 7. Izquierda: flujo circular en la bahía, cuando la carrera de marea se dirige hacia el Este. Derecha: estimación de un tiempo de renovación del agua de la bahía a partir de los datos de actividad total remanente (en coordenadas logarítmicas) versus tiempo. En este caso el resultado fue de 29 horas.

La marea decreciente corresponde a una fase de vaciado: la bahía se comporta como una bomba de descarga intermitente de contaminantes en las aguas costeras adyacentes.

A partir del volumen y la concentración en cada una de las celdas en las que se dividió la bahía (Figura 4, izquierda) se puede estimar la actividad de tritio remanente en función del tiempo (Figura 7, derecha). Considerada en conjunto, el agua de la bahía se renueva con un tiempo nominal que se halla comprendido entre las 15 y las 40 horas, si se asume un único compartimento representativo. Si se consideran los compartimentos parciales definidos por las celdas de muestreo, el tiempo de renovación disminuye al pasar de las celdas de la parte suroeste hacia las celdas de la parte noreste. En la mayor parte de esas celdas el tiempo de renovación es relativamente corto. Las zonas de renovación más lenta corresponden a la desembocadura de los arroyos Miguelete y Pantanoso, a las dársenas del puerto y a la región comprendida entre el espigón F y la central termoeléctrica.

En las campañas efectuadas en marzo y abril de 1993 se encontró un cuerpo de aguas costeras con una estratificación bastante neta. Generalmente se observaron dos capas de agua de diferente salinidad, separadas por una picnóclina: una capa superior, de agua más dulce, de río, y una capa inferior, de agua más salada, proveniente del océano. Al mismo tiempo la conductividad variaba horizontalmente aumentando hacia el Este tanto en la superficie como en el fondo y la profundidad de la picnóclina aumentaba hacia el Oeste.

Una diferencia de conductividad entre el fondo y la superficie de 10 mS/cm a través de una columna de agua de 6 m, con una capa de 1 m de espesor a 3 m de profundidad, donde la conductividad varía bruscamente en 5 mS/cm (haloclina), es representativa de la situación. Las diferencias de temperatura medidas (menos de 2 ° C) entre la superficie y el fondo del estuario no inciden en forma significativa en la estratificación, puesto que 2°C corresponden a una diferencia de densidad de 0.6 g/l, contra los 7 g/l correspondientes a una diferencia de conductividad de 10 mS /cm.

De un día a otro se producían variaciones en más o en menos respecto de los valores de conductividad obtenidos en el mismo punto y a la misma distancia de la superficie. Estas modificaciones, bien conocidas, se deben al avance o al retroceso de masa de agua salada o de agua dulce. Pero el patrón de estratificación vertical se mantuvo en todos los casos.



Durante los días 24 al 28 de mayo se produjo una invasión de agua de baja salinidad proveniente del Oeste. La conductividad en la playa Pocitos, durante esos días, no descendió a los valores bajos (4 mS/cm) medidos en la playa Ramírez. A partir del día 28 se produjo una invasión de agua más salina (conductividades superiores a 35 mS/cm) proveniente del Este.

Las estimaciones de velocidad efectuadas utilizando biplanos y las mediciones con correntómetros muestran en general una diferencia significativa en las velocidades promedio entre la capa de agua predominantemente dulce y la capa de agua predominantemente salada. Esas diferencias dependen del instante en el ciclo de marea astronómica y de los vientos predominantes. En la zona del emisario subacuático, durante el segundo experimento con 131-I, las velocidades en la capa superior fueron aumentando desde 140 m/h hasta 310 m/h, mientras que las velocidades en la capa inferior aumentaron desde 360 m/h hasta 1200 m/h, para descender luego a 960 m/h hacia el final del experimento. El agua circula a lo largo de una franja cuyo ancho varía entre 1 y 5 km, con la región más estrecha a la altura de Punta Carretas. Los procesos de transporte son muy rápidos a lo largo de la costa: en dos o tres días una partícula que parte próxima a la boca de la bahía puede alcanzar la playa Carrasco, a más de 15 km de distancia.

La primera detección de tritio se efectuó a las 2 horas de ocurrida la pleamar siguiente a la inyección del trazador. En ese entonces el agua marcada había llegado ya a la transecta 1 (playa Ramírez) con una concentración elevada en un punto próximo a la costa. Al día siguiente no se encuentra tritio en la transecta 2 (playa Pocitos) ni en la zona más próxima a la costa de la transecta 3. Pero se halla el trazador en la zona más alejada de la transecta 3 y en la transecta 4. Esto indica que en la playa Pocitos se produce un **efecto de trampa** que tiene como consecuencia que las descargas locales de contaminantes adquieran más importancia allí que en otras zonas de la costa.

La aparición de agua de conductividades muy diferentes, marchando en sentidos opuestos y mezclándose con el agua marcada no llegan a producir una renovación apreciable del agua de la zona costera investigada: el tritio continuó estando distribuido a lo largo de la cadena de playas, a concentraciones más bajas pero medibles sin dificultad.

Durante los estudios de estabilidad de la pluma de descarga del emisario de Punta Brava, la sensibilidad del detector en las condiciones del experimento fue de 2.1 cuentas por segundo por metro cúbico y micro-curio. Efectuando un balance de masa se puede estimar una concentración de $442 \mu\text{-Ci/m}^3$ a la salida del emisario, para un flujo de 1 metro cúbico por segundo. Esto corresponde a una respuesta de 998 cuentas por segundo en el detector. Como el máximo valor medido en el penacho formado a la salida de los difusores fue de 181 cuentas por segundo, esto indica que el factor de dilución en ese punto era de 5.1. Este coeficiente de dilución inicial determinado con trazadores es casi la tercera parte del coeficiente estimado mediante la teoría de chorros en medios estratificados [2].

La medición de la actividad del trazador mostró que el agua descargada quedaba atrapada por debajo de la picnóclina, en forma completamente estable. Viajaba hacia el Oeste, siguiendo la carrera de marea ascendente, aumentando paulatinamente su profundidad y



expandiéndose horizontalmente más y más. Cuando las velocidades de flujo son bajas, las aguas residuales viajan dentro de una capa de menos de 1 m de espesor que se ensancha progresivamente a medida que el vertido se aleja de los difusores. A velocidades mayores aumenta el transporte por difusión turbulenta vertical en el fondo del estuario, por lo que se produce un mezclado vertical del agua situada entre el fondo y picnóclina. Se detecta experimentalmente a través del perfil vertical de actividad del trazador en la 5ª detección de la pluma (Figura 8).

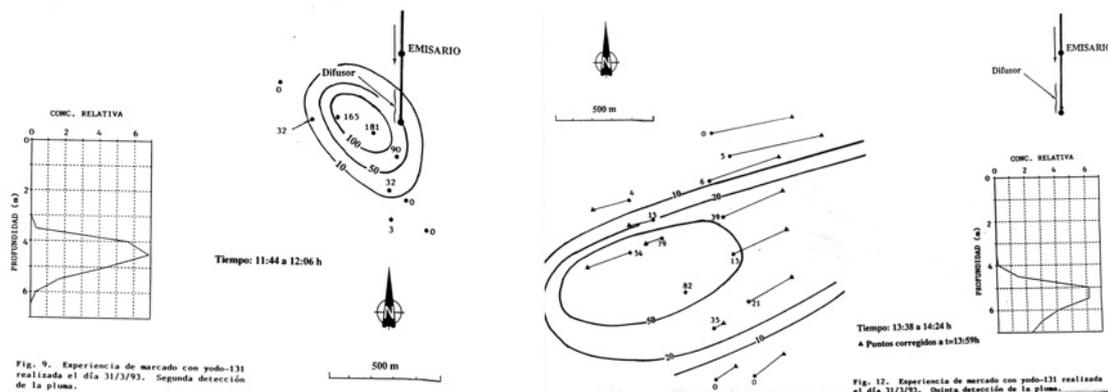


Figura 8. Izquierda: segunda detección de la pluma. Derecha: quinta detección de la pluma. Las líneas de iso-actividad para la quinta detección de la pluma están corregidas para tener en cuenta efecto del transporte advectivo durante el intervalo de tiempo involucrado en las mediciones.

La dilución del trazador aumentó muy rápidamente y las concentraciones alcanzaron en algunos puntos valores por debajo de los límites de detección. No obstante, la halóclina no se desvanece: permanece como un techo difusivo para las aguas residuales vertidas por el emisario, debido a lo cual la transferencia de agua contaminada hacia las capas superiores se produce con dificultad.

En las campañas llevadas a cabo en la segunda mitad del mes de mayo y en el mes de junio de 1995, la estratificación vertical típica de la época estival había desaparecido, y la diferencia de temperatura entre la superficie y el fondo, de dos o tres de grados se había reducido a menos de un grado Celsius. Se obtuvieron valores del parámetro de efecto de escala próximos a 1 al comienzo del proceso. Los valores del parámetro de escala fueron disminuyendo continuamente hasta anularse cuando la nube de trazador se había hecho lo bastante extensa, aproximadamente luego de transcurrida una hora y media desde el momento de la inyección. Cuando la mancha es lo suficientemente grande (su menor dimensión superior a los 700m) se puede utilizar el modelo de dispersión Gaussiano. Para los coeficientes de dispersión longitudinal se obtuvieron valores próximos a $1 \text{ m}^2/\text{s}$ ($K_L \approx 0.83 \text{ m}^2/\text{s}$) y cerca de veinte veces menores para los coeficientes de dispersión transversal ($K_T \approx 0.018 \text{ m}^2/\text{s}$).



Para las campañas sobre dinámica de sedimentos llevadas a cabo en 1996 y 1997 se determinó la composición promedio del material que ocupa las zonas a dragar en la bahía de Montevideo: Arena: 5% Limo: 80% Arcilla: 15% Arena + limo grueso: 25%

La capa de barro fluido en el fondo de los canales de navegación en la Bahía de Montevideo posee características que justifican la determinación de la profundidad náutica (capa de sedimentos en suspensión con densidad 1.2 t/m^3) con el fin de ajustar la profundidad de dragado teniendo en cuenta el calado previsto de los barcos y disminuyendo el costo. Esta determinación no puede efectuarse adecuadamente usando un sonar, pero sí puede lograrse satisfactoriamente empleando de una sonda nuclear de densidad (Figura 9).

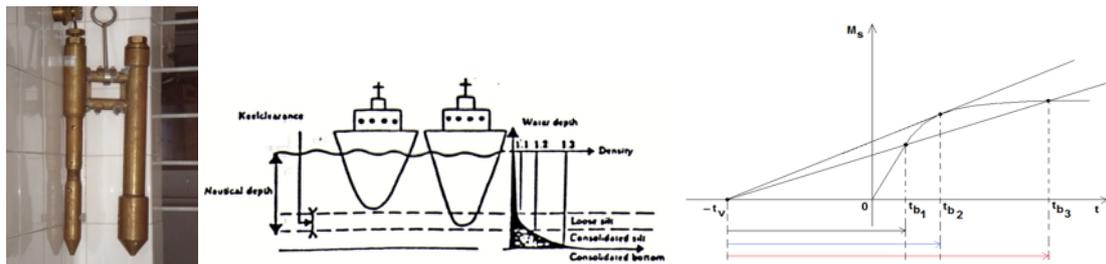


Figura 9. Izquierda: sonda nuclear para medir densidad de sedimentos. Medio: esquema del empleo de la sonda para determinar la profundidad náutica. Derecha: curva de acumulación de material dragado y procedimiento para determinar el tiempo óptimo de operación de las bombas de succión.

También se justifica determinar la curva de acumulación de material en la cántara de las dragas que operan por succión continua con el fin de estimar el tiempo óptimo de operación de las bombas y minimizar el costo de cada ciclo de dragado. Supongamos que el costo de una operación de dragado es proporcional a la duración de los procesos que la componen. Consideremos las rectas que cortan a la curva de acumulación de masa en función del tiempo y cortan el eje del tiempo en un instante negativo cuyo valor absoluto representa el tiempo de operación (viaje de ida hasta y vuelta desde el punto de vertido del material dragado). Entonces la recta tangente define el tiempo óptimo de operación de las bombas, porque se obtiene un valor máximo para el cociente entre la masa de sedimentos acumulados y el costo del dragado.

En las campañas de 2001 destinadas a estudiar la capacidad de autodepuración de las aguas costeras en la región de Punta Lobos se estimaron, para el parámetro equivalente al T_{90} , valores comprendidos entre 6 y 12 horas, tomando valores mínimos en los escenarios correspondientes a las dos últimas campañas y valores máximos en los escenarios correspondientes a las dos primeras. Si bien las temperaturas del aire durante las últimas dos campañas eran relativamente elevadas para la época del año, la temperatura del agua no lo reflejaba, como cabía esperar. En las primeras dos campañas la turbidez del cuerpo de agua era significativamente mayor que la turbidez durante los dos últimos trabajos de campo.



DISCUSIÓN

El modelo de compartimentos múltiples para la bahía (uno por cada celda) se puede simplificar en un modelo de solo dos compartimentos: suroeste y noreste. Esto viene sugerido por los detalles batimétricos que aparecen en la Figura 4 y por el examen de los datos graficados en la Figura 7. La recta que se dibujó en esa figura se ajusta mejor a los datos correspondientes a la última etapa del vaciado de tritio de la bahía pero no es representativa de la etapa inicial, durante la cual el tritio ocupaba fundamentalmente el compartimento noreste e iba siendo transportado hacia el compartimento suroeste.

Un modelo de dos compartimentos predice para la actividad total de tritio $A(t)$ [13]:

$$A(t) = \frac{A(0)}{(\lambda_2 - \lambda_1)} \cdot (\lambda_2 \cdot e^{-\lambda_1 t} - \lambda_1 \cdot e^{-\lambda_2 t})$$

Los parámetros λ_1 y λ_2 son positivos, $\lambda_1 < \lambda_2$ y

ambos se pueden expresar en función de los cocientes entre los flujos y los volúmenes promedio de los compartimentos. La actividad inicial $A(0)$ corresponde a los 100 Ci distribuidos en el compartimento noreste, que se comunica directamente solo con el compartimento suroeste. Por este motivo la velocidad de variación de la actividad de tritio en el instante inicial es nula. El compartimento suroeste comprende la boca de la bahía y se comunica directamente con las aguas costeras: el tritio solo puede abandonar la bahía a través de este compartimento pero inicialmente se encuentra solo en el otro compartimento, el sureste.

Una vez desaparecido el efecto de $\lambda_1 \cdot e^{-\lambda_2 t}$, la actividad remanente se puede describir por

$$\log_e A(t) \approx -\lambda_1 \cdot t + \log_e \frac{A(0)}{\left(1 - \frac{\lambda_1}{\lambda_2}\right)}$$

la recta Esta expresión corresponde a la recta de la Figura

7. Como $\frac{A(0)}{\left(1 - \frac{\lambda_1}{\lambda_2}\right)}$ es mayor que la concentración inicial de tritio $A(0)$, esta última queda por debajo del punto de intersección de la recta con el eje de los tiempos.

Una vez que sale el agua contaminada de la bahía entre las escolleras Oeste y Sarandí, en la época estival encuentra un cuerpo de agua estratificado. Los resultados experimentales indican que la mayor parte del agua circula por la capa superior, por encima de la picnóclina. Lo contrario ocurre con las aguas residuales descargadas por el emisario de Punta Brava, que viajan por debajo de la picnóclina. El gradiente vertical en la velocidad horizontal a través de la picnóclina tiende a aumentar el transporte turbulento en dirección vertical. Desde el punto de vista cuantitativo se lo puede resumir estimando una frecuencia de Kelvin-Helmholtz

$$N = \sqrt{\left(\frac{\partial \bar{u}}{\partial z}\right)^2 + \left(\frac{\partial \bar{v}}{\partial z}\right)^2}$$

a partir de las variaciones verticales de las componentes \bar{u} y \bar{v} del promedio de la velocidad horizontal. La variación brusca de densidad ρ a través de la



picnóclina tiende a disminuir el transporte turbulento, lo que puede resumirse estimando una

frecuencia de Brünt-Väisälä $M = \sqrt{-\frac{1}{\rho} \left(\frac{\partial \rho}{\partial z} \right)}$ (el eje z está dirigido desde el fondo hacia la superficie). A partir de las mediciones en las aguas costeras de la región de Punta Brava se pueden hallar valores numéricos aproximados para esas frecuencias en tres casos: en la capa superior, en la capa inferior y en la picnóclina. Los efectos combinados de ambos efectos

contrapuestos se pueden resumir un número de Richardson local: $Ri(z) = \frac{M^2(z)}{N^2(z)}$ Es posible establecer correlaciones (de Mamayev, de Munk y Anderson, etc. [14]) entre los promedios, tomados sobre un ciclo de marea, del número de Richardson y del coeficiente de difusión turbulenta vertical $\bar{\varepsilon}_z(z)$. A partir de esas correlaciones se puede estimar, para los escenarios estudiados, que el valor promedio del coeficiente de difusión turbulenta vertical puede disminuir en la interface (picnóclina) hasta un 80 % de sus valores en cada una de las capas [4]. En consecuencia la interface opera como un verdadero techo difusivo para el transporte turbulento vertical en la capa inferior (aguas descargadas por el emisario) y como un piso difusivo para dicho transporte en la capa superior (aguas inyectadas desde la bahía cuando la carrera de marea se dirige hacia el Este). Los resultados experimentales relacionados con el transporte de uranina confirman esta conclusión.

El espesor inicial de la pluma de descarga del emisario sub-acuático puede estimarse a partir del factor de dilución mínimo, del flujo descargado por unidad de longitud del tramo de difusores y de la velocidad de la corriente transversal al tramo de los difusores. Si se toma una velocidad de 400 m/h (que corresponde al comienzo del experimento), una longitud de 67 m para el tramo de difusores y el flujo total descargado, se obtiene un espesor de 0.7 m para el inicio de la pluma [2]. El espesor estimado a partir de los perfiles de actividad fue de 2 m. Estas dos estimaciones son compatibles por dos motivos: (1) el trazador no viaja en una lámina de concentración constante y (2) el detector es capaz de captar fotones gama proveniente de puntos relativamente alejados. Aunque el peso del aporte de un elemento de volumen al número total de cuentas cae rápidamente con la distancia entre dicho elemento y el detector, este último comienza a producir una señal significativamente por encima del ruido de fondo cuando todavía se encuentra algo alejado de la nube de trazador.

CONCLUSIONES

(1) En la mayoría de los trabajos con radioisótopos que se describen en esta presentación participaron expertos de la sección de hidrología isotópica del OIEA, quienes contaron con sus propios dosímetros. Esto permitió comparar las dosis informadas por el OIEA con las dosis determinadas localmente.

Para cada trabajo de campo se solicitó y se obtuvo, de parte de la autoridad competente, la correspondiente autorización para el uso de radioisótopos sobre la base de la justificación de la práctica, comparada con posibles alternativas, su optimización y la limitación de la dosis



tanto para los trabajadores ocupacionalmente expuestos como para el público en general [15]. Durante las operaciones se aplicaron medidas de seguridad y se realizó un monitoreo ambiental, por los oficiales de protección radiológica, de acuerdo con las normas. Se establecieron medidas de seguridad para enfrentar situaciones no planificadas que involucraran riesgo de exposición o de contaminación. Se produjo un incidente durante las maniobras previas al marcado de la pluma de descarga del emisario de Punta Brava con 131-I, que involucró a un funcionario del OIEA. Se resolvió satisfactoriamente aplicando las medidas de seguridad previstas para el caso. El resto de los trabajos se desarrollaron sin incidentes ni accidentes.

(2) Como consecuencia del brusco aumento en la conductividad (y por tanto de la densidad) del agua existente en la zona del emisario cuando se alcanza una determinada profundidad, durante los meses abarcados por la campaña (verano-otoño temprano) las aguas residuales vertidas a través del mismo son atrapadas a niveles profundos, entre los 3.6 metros (primera detección de la pluma) y los 5.2 metros (quinta detección de la pluma). En consecuencia, las playas con una profundidad menor a 3 metros deben estar poco expuestas a contaminación proveniente de los caudales descargados a través del emisario: la mayor parte de las aguas residuales escapan de la zona de playas a través de flujos más profundos. Se comprobó que el emisario sub-acuático operaba de acuerdo a lo esperado en las condiciones prevalecientes en el momento del estudio (las usuales en la temporada estival) y no sería el principal responsable de la contaminación residual de las playas.

(3) La bahía opera como una bomba de descarga intermitente de contaminantes a las aguas costeras de Montevideo. De la estimación de los tiempos de transporte de los contaminantes presentes en las aguas costeras provenientes de la bahía (microbiológicos o químicos), se desprende que en un lapso no mayor a cuatro días, un agente vertido en las dársenas del Puerto de Montevideo alcanza las aguas de la Playa Carrasco. En el caso del vibrión colérico, en las condiciones de temperatura y salinidad usuales en la temporada estival, cabe esperar una sobre vida promedio de más de cinco días. En consecuencia, debido a casos como éste, podría ser necesario tomar medidas sobre el uso de las playas en caso de producirse un accidente de contaminación en el puerto.

(4) El proceso de advección-dispersión del trazador, que simula el transporte de un contaminante vertido accidentalmente en forma súbita y localizada en una región con efecto de trampa, presenta efectos de histéresis y de escala significativos durante la primera hora y media. Luego se puede aplicar un modelo matemático de dispersión gaussiana integrado en profundidad [16]. La matriz de coeficientes de dispersión diagonalizada presenta un coeficiente que toma valores del orden de $1 \frac{m^2}{s}$ y el otro coeficiente toma valores de un orden veinte veces menor. Esta matriz emerge de una estructura de corrientes compleja, que



puede presentar inversión de flujos en profundidad, cuando se considera una dirección ortogonal a la línea de la costa, bajo la acción de vientos fuertes y frecuentes provenientes del S, SE o SW. En este caso los ejes principales de la matriz de dispersión no necesariamente coinciden con las direcciones determinadas a partir de la dirección promedio del movimiento advectivo. Las direcciones de los ejes principales pueden cambiar de un punto a otro del cuerpo de agua, si bien de forma continua y en escalas espaciales relativamente grandes. Todo esto debe tenerse en cuenta si se va a utilizar un modelo analítico de pronóstico, como es el caso de las estimaciones efectuadas con fines de protección radiológica.

(5) El concepto de T_{90} , en su acepción original, debe ser refinado considerablemente y complementado por otros parámetros para obtener una medida de la capacidad de autodepuración aplicable a un cuerpo de agua con una dinámica tan compleja como el estudiado. En principio se podrían estimar unos pocos coeficientes cinéticos adicionales a partir del ajuste de los parámetros de modelos matemáticos como el mencionado [12] a los datos obtenidos en los trabajos de campo. Para ello se deben utilizar las fases iniciales de los transitorios en la cinética de las concentraciones bacterianas y del trazador conservativo.

(6) Existen zonas (por ejemplo frente a Playa Pocitos) en las que un accidente de contaminación en la época estival que se produzca en la capa de agua por encima de la picnóclina, puede presentar una gravedad especial.

REFERENCIAS

- [1] A. Plata, A. Kurucz y otros, 1992. "Circulación y renovación del agua en la Bahía de Montevideo", Informe de avance del Proyecto URU/8/007, Sección de Hidrología Isotópica, Depto. De Investigación e Isótopos, OIEA, Viena, Austria.
- [2] A. Plata, R. Suárez Antola y otros, 1993. "Estudio de la Contaminación Costera de la zona de Montevideo mediante Técnicas de trazadores" Informe de avance del Proyecto URU/8/007, Sección de Hidrología Isotópica, Dpto. de Investigación e Isótopos, OIEA, Viena.
- [3] R. Suárez Antola, L. Crosignani y otros, 1994. "Estudio experimental mediante trazadores de los contaminantes vertidos por la Bahía de Montevideo en las playas del este de la ciudad" en Anales del XXIV Congreso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental, Buenos Aires.
- [4] R. Suárez Antola, A. Malek y otros, 1995. "Los parámetros de la dispersión en las aguas costeras del Departamento de Montevideo. Parte 1. Fundamentos y descripción de la técnica experimental" Informe a avance del Proyecto URU/8/009, Montevideo.
- [5] R. Suárez Antola, A. Malek y otros, 1995. "Determinación de los parámetros de la dispersión de contaminantes en las aguas costeras adyacentes al emisario sub-acuático de Punta Carretas" Informe de avance del Proyecto URU/8/009 del OIEA.
- [6] R. Suárez Antola, 1999. "Fluorescent tracers, scale effects and applications of fractal geometry in the coastal waters of Río de la Plata", presentación sobre avances en



- tecnología de trazadores realizada en el Centro Nuclear de Saclay de la Comisión de Energía Atómica de Francia.
- [7] J. Vianna Bandeira, C. Goudiño Pintos y otros, 1998. “Study of the environmental quality of the Bay of Montevideo”, Informe de avance de Proyecto Uru/8/009, Sección de Hidrología Isotópica, OIEA, Viena.
- [8] R. Suarez Antola y L. Luchinni, 2001. “Informe final sobre la determinación del T90 en las aguas costeras de la región de Punta Lobos” Informe técnico para la Intendencia Municipal de Montevideo.
- [9] J. J. Edens, 1972. “Some applications of radioisotopes in coastal pollution control” en Peaceful Uses of Atomic Energy, vol. 14, OIEA, Viena.
- [10] J. Nihoul (ed.) 1975. “Modelling of marine systems”, Elsevier, Amsterdam.
- [11] G. Tchobanoglous y F. Burton, 1991. “Metcalf & Eddy Wastewater engineering”, Mc Graw Hill, Nueva York.
- [12] R. Suárez Antola, 2006. “A mathematical model for the design and interpretation of experiments intended to measure the T_{90} in estuarine coastal waters”, Proceedings of the 4th International Conference on Tracers and Tracer Applications, Autrans.
- [13] R. Suárez Antola y otros, 2013. “Water renewal in Montevideo’s Bay: a two compartments model for tritium kinetics”, International Nuclear Atlantic Conference, Recife, Brasil.
- [14] K. Bowden, 1983. “Physical oceanography of coastal waters”, Ellis Horwood, Londres.
- [15] R. Suárez Antola, A. Badano y otros, 1993. “Metodología de la Seguridad Radiológica en el Empleo de trazadores Radiactivos en Estudios Hidrodinámicos e Ingeniería Ambiental”, en II Congreso Regional de Seguridad Radiológica y Nuclear, Memorias, Volumen II, Primera Parte, pp. 71-79, Mexico.
- [16] H. Fischer, 1978. “On the tensor form of the bulk dispersion coefficient in a bounded skewed shear flow”, J. Geophys. Res., 83, pp 2373-2375.



The Viscoelastic Properties of Composite Solids: A Unified Fractal Model of Power Law and Stretched Exponential Responses

R. Suárez-Ántola^{1,2} and D. Suárez-Bagnasco^{3,4}

¹ Centro de Investigación y Desarrollo, Universidad Católica del Uruguay

² Dirección General de Secretaría, Ministerio de Industria, Energía y Minería de Uruguay

³ LAU, Instituto de Física, Facultad de Ciencias, UDELAR, Montevideo, Uruguay

⁴ DSB Engineering Services, Agraciada 3341, Montevideo, Uruguay

rsuarez@ucu.edu.uy, roberto.suarez@miem.gub.uy, ingdsb@gmail.com

ABSTRACT

A fractal tree of nested viscoelastic boxes is proposed to describe the elastic after-effect in some composite solids that show evidence of a hierarchical structure, such as clay, some rocks, concrete, and even some biological tissues (as well as materials used in artificial grafts). A functional equation is derived and solved for the Laplace's transform of the creep kernel of the whole hierarchy. Inverting the transform, Hopkinson's power law is obtained as a fairly accurate approximation, after an initial time interval. The exponent in the power law is obtained as a well-defined function of the branching numbers and scaling parameters of the viscoelastic hierarchy. Then we consider a composite solid with both elastic (impact) strain response and power law type elastic after-effect, for an applied stress step. The stress response to an applied strain is given in terms of Rabotnov's fractional exponential functions. The stretched exponential stress relaxation to an applied strain step is derived as a fairly close approximation. According to the present mathematical model, for a given composite solid, the stretch parameter of the stretched exponential should be equal to the exponent of the power law. The experimental lower bound (0) and upper bound (1) for this parameter are derived from the theory. It is shown how, at least in principle, these results could be used to design materials with given values of the power law and stretched exponential parameter. Finally, a generalized transmission line approach (a so called fractance approach) is developed to relate the strain and stress responses of hierarchically structured composite solids. A comparison is made between the results obtained using the fractance approach and the results obtained using the functional equation approach.

Key Words: Solid composites, elastic after-effect, fractal hierarchy, power law strain, stretched exponential stress relaxation, fractance, functional equation, Rabotnov's fractional exponential function.

INTRODUCTION

It is known that certain composite solids, that show evidence of having a hierarchical structure, like clays, some rocks, concrete and biological materials, often present hyperbolic delayed strain responses (known as power law creep) to a step of stress, and exponentially



stretched stress responses to a step of strain, at least very approximately, during long periods of time, after a suitable initial time interval.

The power law creep was discovered by W. Weber in 1836, studying the delayed strain $\varepsilon_d(t)$ response of the silk threads of galvanometers under a constant tensile load σ_0 . When a constant stress of magnitude σ_0 is applied at the origin of the time variable t , the strain response $\varepsilon(t)$ to an applied step of stress has a linear elastic component ε_0 and a delayed component $\varepsilon_d(t)$:

$$\varepsilon(t) = \varepsilon_0 + \varepsilon_d(t)$$

If J_0 is the elastic compliance modulus, the elastic response is given by $\varepsilon_0 = J_0 \cdot \sigma_0$

The delayed strain seems to follow a hyperbolic law $\varepsilon_d(t) \approx K \cdot \left(\frac{t}{\tau_\varepsilon}\right)^p \cdot \sigma_0$. Here K is a positive parameter. This power law fits very accurately experimental data for times t greater than the characteristic time τ_ε . The parameter p is always between 0 and 1. So, the whole

strain response to a step in stress is given by: $\varepsilon(t) \cong \left(J_0 + K \cdot \left(\frac{t}{\tau_\varepsilon}\right)^p \right) \cdot \sigma_0$

For a variable applied stress $\sigma(t)$ the delayed strain response of a linear viscoelastic power law material is given by $\varepsilon_d(t) = \int_0^t Q(t-t') \cdot \sigma(t') \cdot dt'$

If $\sigma(t) = \sigma_0$ for $t > 0$ we obtain $\varepsilon_d(t) = \sigma_0 \cdot \int_0^t Q(t') \cdot dt'$. Then $\int_0^t Q(t') \cdot dt' = K \left(\frac{t}{\tau_\varepsilon}\right)^p$ so the viscoelastic kernel is $Q(t) = Q(\tau_\varepsilon) \cdot \left(\frac{\tau_\varepsilon}{t}\right)^\alpha$ with $\alpha = 1 - p$ and $Q(\tau_\varepsilon) = \frac{(1-\alpha) \cdot K}{\tau_\varepsilon}$

If $\sigma(t) = \sigma_0$ for $0 < t < T_0$ and zero otherwise, then the delayed strain response for $t > T_0$ is:

$$\varepsilon_d(t) = \sigma_0 \cdot \int_0^{T_0} Q(t-t') \cdot dt' = \sigma_0 \cdot K \cdot \left(\frac{t^{1-\alpha}}{\tau_\varepsilon^{1-\alpha}}\right) \left(1 - \left(1 - \frac{T_0}{t}\right)^{1-\alpha}\right)$$

But in this case, if $t \rightarrow +\infty$

the delayed strain response $\varepsilon_d(t) \rightarrow 0$. As, of course, the instantaneous elastic response disappears also, the material behaves as a solid. This behaviour justifies the usual denomination of “power law solid” applied to this kind of materials.

Now, notice that the power law response can be written $\varepsilon_d(t) = J(t) \cdot \sigma_0$ with $J(t) = J(1) \cdot t^p$. The compliance $J(t)$ verifies the following functional equation: $J(t_0 \cdot x) = M(t_0) \cdot F(x)$. Here $M(t_0) = t_0^p$ and $F(x) = J(1) \cdot x^p$.



With t_0 fixed, $x \in [0,1]$ and $t = t_0 \cdot x \in [0, t_0]$, this functional equation characterizes a scale invariant response $J(t)$ in a time interval $[0, t_0]$: $M(t_0)$ gives the amplitude and $F(x)$ gives the shape (always the same) of the response. Conversely, the only regular solutions of the functional equation of scale invariance are the power functions [1].

The stretched exponential stress relaxation $\sigma_r(t) \approx \sigma(0) \cdot \exp\left[-\left(\frac{t}{\tau_\sigma}\right)^p\right]$ was discovered by

R. Kohlrausch in 1847 while studying the relaxation of shear stress under conditions of constant shear strain, also in the silk threads of galvanometers. For times t greater than τ_σ , the stretched exponential fits to experimental data fairly accurately. The parameter p also is always between 0 and 1.

After its discovery in 19th century, both hyperbolic and stretched exponential responses were often found studying the mechanical properties of many bodies, including glasses [2], polymers [3], rocks [4] [5], concrete members [6] and samples of biological tissues [7] [8].

There is another fact that is closely related with the hyperbolic response. It is the relative constancy of the quality factor corresponding to elastic wave dissipation in the Earth, for most earth materials and for wave periods comprised between 10^{-5} and 10^3 seconds: it lies between 100 and 1000 [4]. In 1976, in the 46th annual meeting of the Society of Exploration Geophysicists (USA), Strick presented a phenomenological mathematical model that explains this remarkable behaviour in consolidated sedimentary rocks using a continuous fraction stemming from an infinite network of springs and dashpots with increasing elastic and viscous parameters away from the point of stress application [9].

In this type of model, strain and stress responses result from the addition of partial strains or stresses that correspond to the degrees of freedom in an infinite hierarchical structure [10], [11]. In order a given degree of freedom be able to relax, the precedent must relax before. As consequence, the time scale of evolution of a given level is subordinated to the time scale of the precedent level: each level responds slower than the precedent level but faster than the next one.

The main purpose of the present paper is to generalize Strick's model, applying the elementary mechanical theory of composite materials to a suitably defined hierarchical structure of elastic elements of different sizes and shapes immersed in a viscous matrix¹⁰. Under the assumption that the dominant viscous dissipation occurs at the interfaces between the elastic elements and the viscous matrix, we obtain the power law creep that describes the delayed strain response of the above mentioned composites.

¹⁰ A preliminary and partial version of this approach, in the framework of the mathematical modelling of mechanical vibrations of structures and machines, under the title "Vibrations of viscoelastic, power-law solids", was presented by one the authors in the First Regional Seminar of Latin America and Caribbean on Vibration Analysis and Diagnostics, Bariloche's Atomic Centre, Bariloche, Argentina, September 14 to 18, 1987.



In order to do that, we derive a functional equation in Laplace domain, whose solution in time domain corresponds to power law creep. This derivation follows an approach closely related with Liu's explanation of constant phase angle impedances and $1/f$ noises in rough electrode interfaces [12].

Then we show that the stretched exponential can be considered as a fairly good approximation for stress relaxation in a composite with delayed power law and non-zero impact response to a stress step, after an initial time interval and during a significant part (but not towards the end) of stress relaxation. We derive the same value for the parameter of the hyperbolic response and for the parameter of the stretched exponential, as well defined function of the basic parameters of the viscoelastic hierarchy.

To overcome certain limitations of the functional equation approach, we construct a fractal transmission line model for the viscoelastic hierarchy of the composite solid. We suggest further analysis of the strain and stress dynamics using this tool, originated in the electrical engineering field and successfully applied to the analysis of constant phase angle impedances of electrode interfaces and low frequency fractional power responses in dielectrics, by Le Méhauté, Nigmatullin and Nivanen [13].

Mathematical Modeling

Let us consider a biphasic composite material. One phase is a linear viscous matrix. The other phase is a collection of linear elastic aggregates composed by many elements of different sizes and shapes.

We apply a normal stress $\sigma_1 = \sigma$ on the opposite faces of a volume element. Let $\varepsilon_1 = \varepsilon$ be the resulting strain in the direction of the applied stress. (Figure 1)

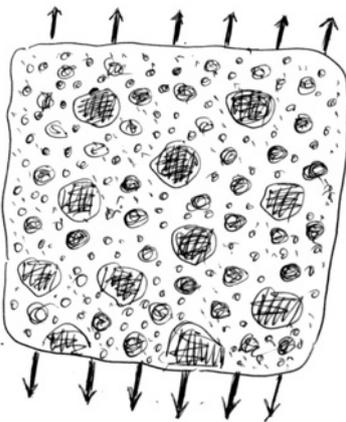


Figure 1. Element of volume of a biphasic composite with hierarchical structure.

Working in the framework of the elementary theory of composite materials, we suppose that the connection between stress and strain can be obtained in one dimension, for this composite, using a sequence of nested viscoelastic boxes (Figure 2).

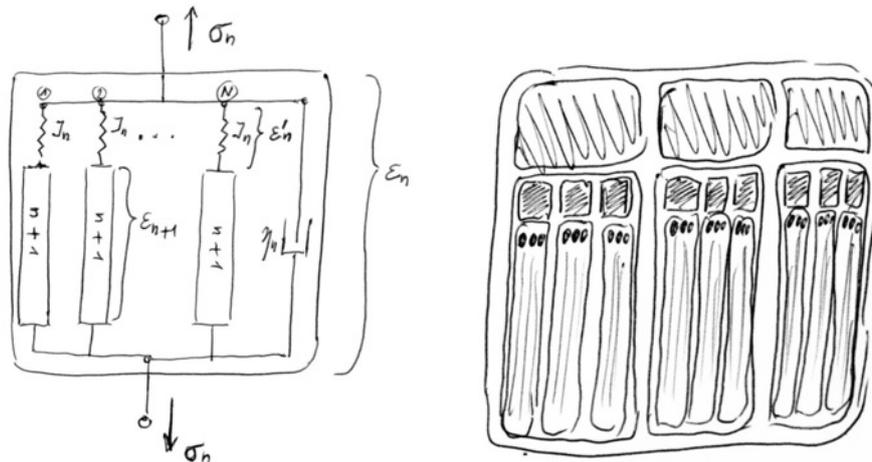


Figure 2. Viscoelastic behaviour of the composite represented by a set of nested viscoelastic boxes.

The viscoelastic box of order n is composed of N_n+1 elements in parallel: one linear viscous element with damping parameter η_n and N_n complex viscoelastic elements. Each of these complex elements is the in series combination of a linear elastic element with compliance J_n and a viscoelastic box of order $n+1$.

Then, if $\sigma_n(t)$ is the stress applied to the viscoelastic box of order n at time t , and if $\varepsilon_n(t)$ is its corresponding strain response, we have:

$$\varepsilon_n(t) = \int_0^t Q_n(t-t') \cdot \sigma_n(t') \cdot dt' \quad (1)$$

We assume that the stress and strain are always zero when $t < 0$. The creep kernel of the viscoelastic boxes of the level n in the hierarchical viscoelastic structure is $Q_n(t)$.

The viscoelastic box of order 1, which contains all the other boxes nested in its interior, is supposed to be in series with a single elastic element of compliance J_0 . This element gives the impact or immediate elastic response of the considered element of volume of the composite material. If $\varepsilon'_n(t)$ is the strain produced in the elastic element of compliance J_n , then:

$$\varepsilon_n(t) = \varepsilon'_n(t) + \varepsilon_{n+1}(t) \quad (2)$$

But $\varepsilon'_n(t) = J_n \cdot \sigma_{n+1}(t)$, so that: $\varepsilon_n(t) = J_n \cdot \sigma_{n+1}(t) + \int_0^t Q_{n+1}(t-t') \cdot \sigma_{n+1}(t') \cdot dt'$ (3)

But in parallel to the combination of elastic compliance with viscoelastic box of order n there is a viscous element. The stress acting through it verifies: $\sigma_{nv}(t) = \eta_n \cdot \frac{\partial}{\partial t} \varepsilon_n(t)$ (4)

If φ_{nv} is the volume fraction of this viscous element, referred to the whole volume of box number n , and if φ_n is the volume fraction of the in series combination of an elastic element with box number $n+1$, from the elementary theory of composite materials we have, applying the popular rule of mixtures:

$$\sigma_n(t) = N_n \cdot \varphi_n \cdot \sigma_{n+1}(t) + \varphi_{nv} \cdot \sigma_{nv}(t) \quad (5)$$



The volume fractions verify, for every n:
$$N_n \cdot \varphi_n + \varphi_{nv} = 1 \quad (6)$$

The possibility of applying the rule of mixtures, at least as a convenient approximation, can be justified as follows. If A_n is a cross sectional area corresponding to the boxes of level n in the viscoelastic hierarchy and A_{nv} is the area corresponding to the dashpot, then:

$$A_n \cdot \sigma_n(t) = N_n \cdot A_{n+1} \cdot \sigma_{n+1}(t) + A_{nv} \cdot \sigma_{nv}(t) \text{ so } \sigma_n(t) = N_n \cdot \frac{A_{n+1}}{A_n} \cdot \sigma_{n+1}(t) + \frac{A_{nv}}{A_n} \cdot \sigma_{nv}(t)$$

As $A_n = N_n \cdot A_{n+1} + A_{nv}$, so we have
$$N_n \cdot \frac{A_{n+1}}{A_n} + \frac{A_{nv}}{A_n} = 1$$

However, as was discovered by the French geologist Achilles Delesse already in 1842, the average fraction of the area occupied by a certain component in a set of parallel cross sections of a composite body can be used as an estimation of the volume fraction of the component in the body [14]. As consequence of this connection between area averages and volumes of a given phase in a body of composite material, if $\frac{A_{n+1}}{A_n}$ is interpreted as an

estimation of the average fraction of parallel cross sectional areas of viscoelastic boxes of level n+1 inside a box of level, taking into account Delesse's rule, we have $\varphi_n \cong \frac{A_{n+1}}{A_n}$ An

analogous derivation gives $\varphi_{nv} \cong \frac{A_{nv}}{A_n}$ Of course both stresses and strains must be interpreted also as suitable averages.

Derivation of a functional equation for the creep kernel $Q_1(t)$

Taking Laplace's transforms, and defining $\bar{f}(s) = \int_0^{+\infty} e^{-s \cdot t} \cdot f(t) \cdot dt$, it follows from (1), (3), (4)

and (5):
$$\bar{\varepsilon}_n(s) = \bar{Q}_n(s) \cdot \bar{\sigma}_n(s) \quad (7)$$

$$\bar{\sigma}_{nv}(s) = s \cdot \eta_n \cdot \bar{\varepsilon}_n(s) \quad (8)$$

$$\bar{\varepsilon}_n(s) = J_n \cdot \bar{\sigma}_{n+1}(s) + \bar{Q}_{n+1}(s) \cdot \bar{\sigma}_{n+1}(s) \quad (9)$$

$$\bar{\sigma}_n(s) = N_n \cdot \varphi_n \cdot \bar{\sigma}_{n+1}(s) + \varphi_{nv} \cdot \bar{\sigma}_{nv}(s) \quad (10)$$

Eliminating $\bar{\sigma}_n(s)$, $\bar{\sigma}_{n+1}(s)$ and $\bar{\sigma}_{nv}(s)$ between (7), (8), (9) and (10) we obtain:

$$\bar{Q}_n(s) = \frac{1}{\varphi_{nv} \cdot \eta_n \cdot s + \frac{N_n \cdot \varphi_n}{J_n + \bar{Q}_{n+1}(s)}} \quad (11)$$

Now, if we assume an infinite hierarchy of nested viscoelastic boxes, then from (11) we obtain the following continued fraction:



$$\bar{Q}_1(s) = \frac{1}{\varphi_{1v} \cdot \eta_1 \cdot s + \frac{N_1 \cdot \varphi_1}{J_1 + \frac{1}{\varphi_{2v} \cdot \eta_2 \cdot s + \frac{N_2 \cdot \varphi_2}{J_2 + \dots}}} \quad (12)$$

Now, let us suppose that: $N_n \cong N$ $J_n \cong J$ $\varphi_n \cong \varphi$ $\varphi_{nv} \cong \varphi_{nv}$ for every n .

Then (6) reduces to
$$N \cdot \varphi + \varphi_v = 1 \quad (13)$$

If the viscous dissipation of elastic energy is produced mainly in the region of matrix surrounding each aggregate-matrix interface, we can expect that as the aggregate becomes smaller, the viscosity becomes larger (the other conditions remaining unchanged). So, introducing a parameter β between 0 and 1, we assume that the viscosity coefficients of the different levels of the viscoelastic hierarchy verify:

$$\eta_n \cdot (\varphi^\beta)^{n-1} \cong \eta_1 \quad (14)$$

So, as the volume fraction φ is less than 1, η_n grows scaled by $\frac{1}{\varphi^\beta}$ from each level to the following level of the hierarchy. Then (12) reduces to:

$$\bar{Q}_1(s) = \frac{1}{\varphi_v \cdot \eta_1 \cdot s + \frac{N \cdot \varphi}{J + \frac{1}{\varphi_v \cdot \frac{\eta_1}{\varphi^\beta} \cdot s + \frac{N \cdot \varphi}{J + \frac{1}{\varphi_v \cdot \frac{\eta_1}{(\varphi^\beta)^2} \cdot s + \frac{N \cdot \varphi}{J + \dots}}}}} \quad (15)$$

Taking (14) into account, and splitting the volume fraction $\varphi = \varphi^\beta \cdot \varphi^{1-\beta}$, it is possible to recast the continued fraction (12) as follows:

$$\bar{Q}_1(s) = \frac{1}{\varphi_v \cdot \eta_1 \cdot s + \frac{N \cdot \varphi^{1-\beta}}{\frac{J}{\varphi^\beta} + \frac{1}{\varphi_v \cdot \eta_1 \cdot s + \frac{N \cdot \varphi^{1-\beta}}{\frac{J}{(\varphi^\beta)^2} + \frac{1}{\varphi_v \cdot \eta_1 \cdot s + \dots}}}}} \quad (16)$$

As shown in the mathematical Appendix, this expression is convergent because $N \cdot \varphi < 1$

For a given set of parameters of the viscoelastic hierarchy, (16) defines a function of s for positive values of the Laplace's variable.

If we substitute in (16) s by $\varphi^\beta \cdot s$ we obtain, after some operations, the following functional equation:



$$\frac{\bar{Q}_1(\varphi^\beta \cdot s)}{J} = \frac{1}{\varphi^\beta \cdot \left(T \cdot s + \frac{N \cdot \varphi^{1-\beta}}{1 + \frac{\bar{Q}_1(s)}{J}} \right)} \quad (17)$$

The characteristic time T is defined by the equation $T = \varphi_v \cdot \eta_1 \cdot J$ (18)

Equation (17) can be solved numerically. However, here we want to proceed analytically as far as possible, so we are going to derive an asymptotic functional equation whose analytic solution is known. As also shown in the mathematical Appendix, assuming that $N \cdot \varphi^{1-\beta} > 1$, when $s \downarrow 0$ then $\bar{Q}_1(s) \uparrow \infty$ and $s \cdot \bar{Q}_1(s) \downarrow 0$. As consequence, when $T \cdot s$ is small enough relative to 1 we will have $\frac{s \cdot \bar{Q}_1(s)}{J}$ small relative to 1 and $\frac{\bar{Q}_1(s)}{J}$ large relative to 1, so (16) may be approximated by:

$$\bar{Q}_1(\varphi^\beta \cdot s) = \frac{1}{N \cdot \varphi} \cdot \bar{Q}_1(s) \quad (19)$$

As shown in the mathematical Appendix, the regular solutions of this functional equation are

$$\bar{Q}_1(s) = \frac{C}{s^p} \quad (20)$$

The parameter p is given as the following function of some parameters of the viscoelastic

hierarchy:
$$p = \frac{\ln\left(\frac{1}{N \cdot \varphi}\right)}{\ln\left(\frac{1}{\varphi^\beta}\right)} \quad (21)$$

As will be shown later, p is a parameter comprised always between 0 and 1.

Inverting the Laplace transform, we obtain the desired delayed strain kernel that gives a power law strain response to a step of stress input:

$$Q_1(t) = Q_1(t_0) \cdot \left(\frac{t_0}{t}\right)^\alpha \quad (22)$$

Here $\alpha = 1 - p$ (also comprised between 0 and 1), and t_0 is an arbitrary but positive reference time. If we take $t_0 = T$, we can expect that (21) approximates the viscoelastic strain kernel for $t > T$. However, C remains undetermined, as well as $Q_1(t_0)$ which is proportional to C . To overcome this limitation without recurring to (17), let us try a different approach to the problem.

Derivation of a transmission line equation for the viscoelastic hierarchy



From (5) we have:
$$\varphi_{nv} \cdot \sigma_{nv}(t) = \sigma_n(t) - N_n \cdot \varphi_n \cdot \sigma_{n+1}(t) \quad (23)$$

From (23), taking into account equations (2) and (4), that is $\varepsilon_n(t) = \varepsilon'_n(t) + \varepsilon_{n+1}(t)$ and $\sigma_{nv}(t) = \eta_n \cdot \frac{\partial}{\partial t} \varepsilon_n(t)$, as well as the constitutive relation between stress and strain for the in series spring inside boxes of level n, that is $\varepsilon'_n(t) = J_n \cdot \sigma_{n+1}(t)$, we obtain the following system of linear differential equations:

$$\varphi_{nv} \cdot \eta_n \cdot \frac{\partial}{\partial t} \varepsilon_n(t) = \frac{(\varepsilon_{n-1}(t) - \varepsilon_n(t))}{J_{n-1}} - N_n \cdot \varphi_n \cdot \frac{(\varepsilon_n(t) - \varepsilon_{n+1}(t))}{J_n} \quad (24)$$

The idea now is to approximate (24) by a partial differential equation of the transmission line type used in electric engineering, define suitable boundary conditions and obtain a solution that asymptotically gives the power law for strain but without undefined multiplicative constants.

Now, we take the Laplace transform in both members of (24):

$$\varphi_{nv} \cdot \eta_n \cdot s \cdot \bar{\varepsilon}_n(s) = \frac{(\bar{\varepsilon}_{n-1}(s) - \bar{\varepsilon}_n(s))}{J_{n-1}} - N_n \cdot \varphi_n \cdot \frac{(\bar{\varepsilon}_n(s) - \bar{\varepsilon}_{n+1}(s))}{J_n} \quad (25)$$

After some reordering, (25) may be put as follows, being $T_n = \varphi_{nv} \cdot \eta_n \cdot J_{n-1}$:

$$T_n \cdot s \cdot \bar{\varepsilon}_n(s) = \bar{\varepsilon}_{n-1}(s) - 2 \cdot \bar{\varepsilon}_n(s) + \bar{\varepsilon}_{n+1}(s) + \left(1 - \frac{N_n \cdot \varphi_n \cdot J_{n-1}}{J_n}\right) \cdot (\bar{\varepsilon}_n(s) - \bar{\varepsilon}_{n+1}(s))$$

If the branching numbers, volume fractions and elastic compliances are constants then:

$$T_n \cdot s \cdot \bar{\varepsilon}_n(s) = \bar{\varepsilon}_{n-1}(s) - 2 \cdot \bar{\varepsilon}_n(s) + \bar{\varepsilon}_{n+1}(s) + (1 - N \cdot \varphi) \cdot (\bar{\varepsilon}_n(s) - \bar{\varepsilon}_{n+1}(s)) \quad (26)$$

Following the approach of Le Méauté and co-authors in Chapter 7 of their already cited book,

let us define $\xi = \frac{1}{N \cdot \varphi}$ and introduce a new variable: $x = \left(\frac{1}{N \cdot \varphi}\right)^n = \xi^n \quad (27)$

If the parameters of the dashpots grow like $\eta_n = \left(\frac{1}{\varphi^\beta}\right) \cdot \eta$, taking into account that, from (27),

$$n = \frac{\ln x}{\ln \xi} \quad \text{we obtain:} \quad \left(\frac{1}{\varphi^\beta}\right)^n = e^{n \cdot \ln\left(\frac{1}{\varphi^\beta}\right)} = e^{\frac{\ln\left(\frac{1}{\varphi^\beta}\right)}{\ln \xi} \cdot \ln x} = x^{1+v} \quad (28)$$

$$\text{Here, by definition:} \quad v = \frac{\ln(N \cdot \varphi^{1-\beta})}{\ln\left(\frac{1}{N \cdot \varphi}\right)} \quad (29)$$

As we shall see in the discussion, v is always positive.

If we take n as a continuous real variable, then $x = \xi^n$ is a regular real function of n .



We define: $\bar{\varepsilon}_n(s) = \tilde{\varepsilon}(x, s) = \tilde{\varepsilon}(\xi^n, s)$ Then $\bar{\varepsilon}_{n-1}(s) - \bar{\varepsilon}_n(s) = \tilde{\varepsilon}\left(\frac{x}{\xi}, s\right) - \tilde{\varepsilon}(x, s)$ may be approximated by $-\frac{x}{\xi} \cdot (\xi - 1) \cdot \frac{\partial}{\partial x} \tilde{\varepsilon}\left(\frac{x}{\xi}, s\right)$, $\bar{\varepsilon}_n(s) - \bar{\varepsilon}_{n+1}(s) = \tilde{\varepsilon}(x, s) - \tilde{\varepsilon}(\xi \cdot x, s)$ may be approximated by $-x \cdot (\xi - 1) \cdot \frac{\partial}{\partial x} \tilde{\varepsilon}(x, s)$ and $\bar{\varepsilon}_{n-1}(s) - 2 \cdot \bar{\varepsilon}_n(s) + \bar{\varepsilon}_{n+1}(s)$ may be approximated by $x \cdot (\xi - 1)^2 \cdot \frac{\partial}{\partial x} \left(x \cdot \frac{\partial}{\partial x} \tilde{\varepsilon}(x, s) \right)$

Taking all this into account, after several operations we obtain the following transmission line equation in Laplace's domain:

$$\frac{\partial^2}{\partial x^2} \tilde{\varepsilon}(x, s) - \tau_\varepsilon \cdot s \cdot x^{\nu-1} \cdot \tilde{\varepsilon}(x, s) \approx 0 \quad (30)$$

Here, with $\xi = \frac{1}{N \cdot \varphi}$:
$$\tau_\varepsilon = \frac{(\eta_1 \cdot J \cdot N^\beta)}{(\xi - 1)^2 \cdot \xi^{2-\beta}} \quad (31)$$

Equation (30) allows an approximate description of a finite viscoelastic hierarchy, say of N levels. This differential equation is equivalent to a modified Bessel equation and from a mathematical point of view is identical with the self-similar transmission line equation derived by Le Meauthé and coauthors [13].

The solutions of equation (30) are linear combinations of modified Bessel functions, both of the first kind $x^{\frac{1}{2}} \cdot I_p \left(2 \cdot p \cdot \sqrt{a} \cdot x^{\frac{1}{2p}} \right)$ and of the second kind $x^{\frac{1}{2}} \cdot K_p \left(2 \cdot p \cdot \sqrt{a} \cdot x^{\frac{1}{2p}} \right)$. The

parameter p verifies:
$$p = \frac{1}{1 + \nu} = \frac{\ln\left(\frac{1}{N \cdot \varphi}\right)}{\ln\left(\frac{1}{\varphi^\beta}\right)} \quad (32)$$

So, it takes the same value given by equation (21) and obtained from the solution of the approximate functional equation (19).

When $\tau_\varepsilon \cdot s$ is positive and much less than 1, the dominant term in the formula of the Laplace's transform $\bar{Q}_1(s)$ for the viscoelastic creep kernel $Q_1(t)$ can be estimated by a suitable modification of the corresponding formula for the input impedance of an infinite self-similar transmission line:

$$\bar{Q}_1(s) = J \cdot p^{1-2p} \cdot \frac{\Gamma(p)}{\Gamma(1-p)} \cdot \frac{1}{(\tau_\varepsilon \cdot s)^p} \quad (33)$$

Here, for $x > 0$, $\Gamma(x) = \int_0^\infty e^{-u} \cdot u^{x-1} \cdot du$ is the Gamma Function.



As consequence, the constant C in formula (20) is now determined and can be written

$$C = J \cdot p^{1-2p} \cdot \frac{\Gamma(p)}{\Gamma(1-p)} \cdot \left(\frac{1}{\tau_\varepsilon} \right)^p \quad (34)$$

Derivation of the stretched exponential stress relaxation

If a linear viscoelastic material has both instantaneous (elastic) $\varepsilon_0(t)$ and delayed $\varepsilon_d(t)$ strain response to an applied stress $\sigma(t)$ that is zero for negative times, the total strain

$$\varepsilon_0(t) + \varepsilon_d(t) \text{ is given by: } \varepsilon(t) = J_0 \cdot \sigma(t) + \int_0^t K(t-t') \cdot \sigma(t') \cdot dt' \quad (35)$$

If the case of the composite material studied in this work, the creep kernel $K(t)$ may be identified with $Q_1(t)$, the kernel of the box in level one in the viscoelastic hierarchy.

Inverting (35) and introducing an elastic impact modulus M_0 such that $J_0 \cdot M_0 = 1$ and a stress

$$\text{relaxation kernel } L(t): \quad \sigma(t) = M_0 \cdot \varepsilon(t) - \int_0^t L(t-t') \cdot \varepsilon(t') \cdot dt' \quad (36)$$

Taking Laplace's transforms in (35) and (36), it is possible to relate the transform $\bar{L}(s)$ of the stress relaxation kernel with the transform $\bar{K}(s)$ of the creep kernel:

$$\frac{\bar{L}(s)}{M_0} = \frac{\left(\frac{\bar{K}(s)}{J_0} \right)}{1 + \left(\frac{\bar{K}(s)}{J_0} \right)} \quad (37)$$

Now we substitute the Laplace's transform $\bar{Q}_1(s) = \frac{C}{s^p}$ of the power law kernel (see equation

(20)) in place of $\bar{K}(s)$ in (37), with $\frac{C}{J_0} = \left(\frac{\chi}{\tau_\varepsilon} \right)^p$, and we obtain:

$$\frac{\bar{L}(s)}{M_0} = \frac{\left(\frac{\chi}{s \cdot \tau_\varepsilon} \right)^p}{1 + \left(\frac{\chi}{s \cdot \tau_\varepsilon} \right)^p} \quad (38)$$

From $\frac{C}{J_0} = \left(\frac{\chi}{\tau_\varepsilon} \right)^p$ and from (34) it follows that $\chi = \left(\frac{J}{J_0} \right)^{\frac{1}{p}} \cdot p^{\frac{1}{p}-2} \cdot \left(\frac{\Gamma(p)}{\Gamma(1-p)} \right)^{\frac{1}{p}}$ (39)

Inverting the transform (37): $\frac{L(t)}{M_0} = \frac{\chi}{\tau_\varepsilon} \cdot \left(\frac{\tau_\varepsilon}{\chi \cdot t} \right)^{1-p} \cdot \sum_{n=0}^{\infty} \frac{(-1)^n}{\Gamma((n+1) \cdot p)} \cdot \left(\left(\frac{\chi \cdot t}{\tau_\varepsilon} \right)^p \right)^n$ (40)



As usual, $\Gamma(z)$ represent the Gamma function. An equivalent expression was called *fractional exponential function* by Rabotnov, already in 1948, since for $p = 1$ reduces to the

decaying ordinary exponential. In our case, when $p = 1$ we obtain: $\left(\frac{\chi}{\tau_\varepsilon}\right) \cdot e^{-\frac{t}{\tau_\varepsilon/\chi}}$

If, as mentioned in [15], the function $\sum_{n=0}^{\infty} \frac{(-1)^n}{\Gamma((n+1) \cdot p)} \cdot (u)^{p \cdot n}$ is approximated by

$$p \cdot (2-p)^p \cdot e^{-p(2-p)^p \cdot u^p} \text{ then: } L(t) \approx M_0 \cdot \frac{\chi}{\tau_\varepsilon} \cdot \left(\frac{\tau_\varepsilon}{\chi \cdot t}\right)^{1-p} \cdot p \cdot (2-p)^p \cdot e^{-p(2-p)^p \cdot \left(\frac{\chi t}{\tau_\varepsilon}\right)^p} \quad (41)$$

From (36) the relaxation of stress at a constant strain ε_0 for a viscoelastic body is given by

$$\sigma(t) = M(t) \cdot \varepsilon_0 \text{ with, by definition: } M(t) = \left(M_0 - \int_0^t L(t') \cdot dt'\right) \quad (42)$$

Taking into account (41), from (40) it follows that the stress relaxes according to a stretched

$$\text{exponential: } \sigma(t) = M(t) \cdot \varepsilon_0 = \sigma_0 \cdot e^{-\left(\frac{t}{\tau_\sigma}\right)^p} \quad (43)$$

In this equation $\sigma_0 = M_0 \cdot \varepsilon_0$

From equations (41) and (39) we obtain the characteristic stress relaxation time τ_σ given as function of the characteristic time τ_ε of the hyperbolic strain response:

$$\tau_\sigma = \frac{\tau_\varepsilon}{(2-p) \cdot \sqrt[p]{p} \cdot p^{\frac{1}{p}-2} \cdot \left(\frac{\Gamma(p)}{\Gamma(1-p)}\right)^{\frac{1}{p}} \cdot \left(\frac{J}{J_0}\right)^{\frac{1}{p}}} \quad (44)$$

The asymptotic percussion stress relaxation mode in the viscoelastic hierarchy

The stretched exponential is exact for $p = 1$. Considered as an approximation it progressively weakens when p decreases towards zero. However it is a fairly good approximation for $p > \frac{1}{2}$ when $\frac{t}{\tau_\sigma}$ is greater than one but not too much. When $\frac{t}{\tau_\sigma} \rightarrow +\infty$ it is possible to

derive the following asymptotic expansion¹¹ for the stress relaxation in response to a step in

$$\text{strain [14]: } \sigma(t) \approx \frac{\sigma_0}{\pi} \cdot \sum_{n=1}^{\infty} (-1)^{n+1} \cdot \frac{\Gamma(np) \cdot \sin(\pi \cdot n \cdot p)}{\left(\chi \cdot t / \tau_\sigma\right)^{n \cdot p}}$$

¹¹ It diverges for every time instant.



So, for $\frac{t}{\tau_\sigma}$ big enough,

$$\sigma(t) \cong \frac{\sigma_0}{\pi} \cdot \frac{\Gamma(p) \cdot \sin(\pi \cdot p)}{\chi^p \cdot \left(\frac{t}{\tau_\sigma}\right)^p} \quad (45)$$

DISCUSIÓN

The parameter p of the power law strain response

From (32) we conclude that p must be positive, because both $\xi = \frac{1}{N \cdot \varphi}$ and $\frac{1}{\varphi^\beta}$ are greater than 1. But from both, experimental results and thermodynamic requirements related with elastic energy dissipation, we know that p must be less than 1. This is equivalent to the restriction $\nu > 1$. Taking into account the definition of ν given in equation (29), as well as the inequality $N \cdot \varphi < 1$, we see that $\nu > 1$ is verified if and only if $N \cdot \varphi^{1-\beta} > 1$. The physical origin of this last inequality and the physical origin of the scale law for the dashpot viscous moduli $\eta_n \cdot (\varphi^\beta)^{n-1} \cong \eta_1$, can be found examining the geometric scaling laws of the viscoelastic hierarchy.

Let us consider an element of volume V_n in the composite material corresponding to a combination in series of an elastic element and a whole viscoelastic box of level n .

Let us introduce a characteristic length l_n corresponding to volume V_n and a characteristic area $S_n \approx l_n^2$ of the interfaces between the volume element and its viscous matrix environment. We assume that $l_{n+1} \approx \varphi^{1/3} \cdot l_n$, so $S_{n+1} \approx \varphi^{2/3} \cdot S_n$ and $V_{n+1} \approx \varphi \cdot V_n$

Furthermore, we suppose that the force F_n taken by the viscous matrix in the volume element is given by $F_n = \mu \cdot S_n \cdot \frac{\partial \varepsilon_n}{\partial t}$. Then, the force per unit volume $\hat{\sigma}_{nv}$ is given by:

$$\hat{\sigma}_{nv} = \frac{F_n}{V_n} = \mu \cdot \frac{S_n}{V_n} \cdot \frac{\partial \varepsilon_n}{\partial t} = \left(\varphi^{-\frac{1}{3}} \right)^{n-1} \cdot \mu \cdot \frac{S_1}{V_1} \cdot \frac{\partial \varepsilon_n}{\partial t}$$

We suppose now that the viscous stress σ_{nv} is related with the density of volumetric viscous

forces by a constant factor: $\sigma_{nv} = \gamma \cdot \hat{\sigma}_{nv}$. So that $\sigma_{nv} = \eta_n \cdot \frac{\partial \varepsilon_n}{\partial t}$, with $\eta_n = \left(\varphi^{-\frac{1}{3}} \right)^{n-1} \cdot \eta_1$

and $\eta_1 = \gamma \cdot \mu \cdot \frac{S_1}{V_1}$

As consequence, we obtain the scale law of viscous dissipation $\eta_n \cdot (\varphi^\beta)^{n-1} \cong \eta_1$ with $\beta = \frac{1}{3}$

According to this model, the parameter of the power law and of the stretched exponential



verifies $p = \frac{\ln\left(\frac{1}{N \cdot \varphi}\right)}{\ln\left(1/\varphi^{\frac{1}{3}}\right)}$. Now ν is positive and p is less than one if

$N \cdot S_{n+1}/S_n \approx N \cdot \varphi^{\frac{2}{3}} = (N \cdot \varphi^{1-\beta})$ is greater than 1: this happens if the total area related with viscous dissipation increases from one level of the hierarchy to the next one.

The relaxation times in a self-similar viscoelastic hierarchy

The self-similar nature in physical space of the viscoelastic hierarchy proposed here gives rise to power law responses, and power law responses point to scale invariance in time. Scale invariance, at its turn, implies a manifold of time scales in the delayed strain responses

$\varepsilon_d(t) = J(1) \cdot t^p \cdot \sigma_0$, such that the local time scale $\frac{|\varepsilon_d(t)|}{|d\varepsilon_d(t)/dt|}$ of the response at the instant

t is always proportional to t : $\frac{|\varepsilon_d(t)|}{|d\varepsilon_d(t)/dt|} = \frac{t}{p}$. The characteristic times τ_ε do not appear in

the local time scales.

In the case of stretched exponential stress relaxation $\sigma_r(t) \approx \sigma(0) \cdot \exp\left[-\left(t/\tau_\sigma\right)^p\right]$ the local

time scale is: $\frac{|\sigma_r(t)|}{|d\sigma_r(t)/dt|} = \left(\tau_\sigma/t\right)^p \cdot t$. It grows like t^{1-p} , slower than the growth of the local

time scale of the delayed strain response. But now the characteristic time τ_σ appears in the formula for the local time scale: the stretched exponential does not have scale invariance in time.

CONCLUSIONS

- A unified phenomenological approach to power law strain and stretched exponential stress relaxation was developed in this paper, for a simplified example of viscoelastic hierarchy.
- An analytical formula for the power law parameter as function of the branching number and volume fractions of the hierarchical composite material was derived for the simplified example. In this case the parameter of the stretched exponential turned to be the same as the power law parameter.
- Formulae were obtained also that allows us to calculate the characteristic times τ_ε and τ_σ as well defined functions of the mechanical parameters of the composite material.



- (d) Due to its scale invariance, the hyperbolic strain response has an infinite and

$\frac{t}{P}$

unbounded set of local time scales $\frac{t}{P}$. The characteristic time τ_ε must not be considered as a time scale of the hyperbolic response. It gives a measure of the numerical order of the interval of time (since the application of a step in stress) after which the power law can be applied.

- (e) The characteristic time τ_σ gives a measure of the numerical order of the interval of time (since the application of a step in strain) after which the stretched exponential law for stress relaxation can be applied. The stretched exponential also has an

$\left(\frac{\tau_\sigma}{t}\right)^p \cdot t$

infinite and unbounded set of local time scales $\left(\frac{\tau_\sigma}{t}\right)^p \cdot t$. Contrary to the hyperbolic response case, now τ_σ appears in formula for the local time scale of stress relaxation.

- (f) If properly validated in practice, the kind of approach developed here could be used as a guide to the design of power law viscoelastic materials with desired values of the power law parameter and characteristic times τ_ε and τ_σ .
- (g) In principle the equation (12) for the Laplace's transform of the creep kernel allows to take into account random branching numbers as well as random elastic and viscous moduli. The resulting equation could be approximately solved applying a method developed by Kaplan and Gray to study the effect of disorder on a fractal model for the alternating current response of rough interfaces [16].
- (h) The transmission line approach enables us to model different in series and in parallel viscoelastic hierarchies, considered as generalized quadrupoles. In this case strain corresponds to voltage and mechanical force (stress multiplied by area) corresponds to current. Dashpots correspond to capacitors and elastic elements correspond to resistances. With these correspondences, the well-developed mathematical tools of distributed parameter electric networks can be applied to study viscoelastic hierarchies.
- (i) Finite viscoelastic hierarchies show, besides the high frequency cut off that corresponds to the beginning of the deformation process, a low frequency cut off for long times of deformation. In the model based in a set of nested boxes, the low frequency cut off behaviour depends of the termination (elastic elements or dashpots) of the last box in the hierarchy.



Mathematical Appendix

1. A continuous fraction like $\overline{Q}_1(s)$ originates a sequence of the so called reduced fractions:

$$\begin{aligned}
 R_1(s) &= \frac{1}{\varphi_v \cdot \eta_1 \cdot s} & R_2(s) &= \frac{1}{\varphi_v \cdot \eta_1 \cdot s + \frac{N \cdot \varphi^{1-\beta}}{J}} & R_3(s) &= \frac{1}{\varphi_v \cdot \eta_1 \cdot s + \frac{N \cdot \varphi^{1-\beta}}{J} + \frac{1}{\varphi_v \cdot \eta_1 \cdot s}} \\
 R_4(s) &= \frac{1}{\varphi_v \cdot \eta_1 \cdot s + \frac{N \cdot \varphi^{1-\beta}}{J} + \frac{1}{\varphi_v \cdot \eta_1 \cdot s + \frac{N \cdot \varphi^{1-\beta}}{J}}} & R_5(s) &= \frac{1}{\varphi_v \cdot \eta_1 \cdot s + \frac{N \cdot \varphi^{1-\beta}}{J} + \frac{1}{\varphi_v \cdot \eta_1 \cdot s + \frac{N \cdot \varphi^{1-\beta}}{J} + \frac{1}{\varphi_v \cdot \eta_1 \cdot s}}}
 \end{aligned} \tag{A1}$$

When s is positive: $0 < R_2(s) < R_4(s) < R_6(s) < \dots < \overline{Q}_1(s) < \dots < R_5(s) < R_3(s) < R_1(s)$ (A2)

If $R_{n+1}(s) - R_n(s) \rightarrow 0$ when $n \rightarrow +\infty$ for every positive s , the continuous fraction defines a function of s that is a solution of the functional equation (17). See [17], Chapter 2.

In our case, with $T = \varphi_v \cdot \eta_1 \cdot J$ we have: $0 < R_{2k+1}(s) - R_{2k}(s) < \frac{1}{(T \cdot s)^{2k}} \cdot \frac{1}{(N \cdot \varphi)^{(k+1)^2}}$

Because $N \cdot \varphi < 1$ and $\frac{1}{(N \cdot \varphi)^{(k+1)^2}}$ is asymptotically dominant, $R_{2k+1}(s) - R_{2k}(s)$ tends to zero

when $k \rightarrow +\infty$. As consequence the functional equation for the Laplace's transform of the creep kernel has at least one positive solution.

2. Let us consider this positive solution $\overline{Q}_1(s)$ of the above mentioned functional

equation, rewritten:
$$\frac{1}{\varphi^\beta \overline{Q}_1(\varphi^\beta \cdot s) / J} = T \cdot s + \frac{N \cdot \varphi^{1-\beta}}{1 + \overline{Q}_1(s) / J} \tag{A3}$$

From (A2): $R_2(s) < \overline{Q}_1(s)$ From (A1): $R_2(s) \rightarrow \frac{J}{N \cdot \varphi} > 0$ when $s \downarrow 0$. So, the lower limit

Q_* of $\overline{Q}_1(s)$ when $s \downarrow 0$ must be positive or $+\infty$.

Furthermore, $\liminf_{s \downarrow 0} \overline{Q}_1(\varphi^\beta \cdot s) = Q_*$

From (A3) and taking into account the properties of upper and lower limits (see [18]):

$$\frac{1}{Q_*/J} = \frac{N \cdot \varphi}{1 + Q_*/J} \tag{A4}$$

Because $N \cdot \varphi < 1$ the only admissible solution of (A4) is: $Q_* = +\infty$ (A5)

But if $\liminf_{s \downarrow 0} \overline{Q}_1(s) = +\infty$ then: $\lim_{s \downarrow 0} \overline{Q}_1(s) = +\infty$ (A6)

3. Now we consider the functional equation rewritten again thus:



$$\frac{s \cdot \varphi^\beta \cdot \overline{Q}_1(\varphi^\beta \cdot s)}{J} = \frac{1}{\left(T + \frac{N \cdot \varphi^{1-\beta}}{s + \frac{s \cdot \overline{Q}_1(s)}{J}} \right)} \quad (\text{A7})$$

From (A7) it follows that either $\ell_s = \limsup_{s \downarrow 0} s \cdot \overline{Q}_1(s) = 0$ or ℓ_s is finite and verifies:

$$\ell_s = \frac{1}{\left(T + \frac{N \cdot \varphi^{1-\beta}}{\ell_s} \right)} \quad \text{Then:} \quad \ell_s = \frac{1 - N \cdot \varphi^{1-\beta}}{T} \quad \text{But if } N \cdot \varphi^{1-\beta} > 1 \text{ this last equation}$$

implies that ℓ_s must be negative, which is not possible. So, the only possible solution is:

$$\ell_s = \limsup_{s \downarrow 0} s \cdot \overline{Q}_1(s) = 0 \quad \text{As consequence:} \quad \lim_{s \downarrow 0} s \cdot \overline{Q}_1(s) = 0 \quad (\text{A8})$$

REFERENCES

- [1] A. Pipkin 1972. Lectures on Viscoelasticity Theory, Springer, New York, USA
- [2] H. Schiessel, R. Metzler, A. Blumen and T. Nonnemacher, 1995. Generalized viscoelastic models: their fractional equations with solutions, J. Phys. A: Math. Gen. 28, 6567-6584.
- [3] M. Alcoutlabi and J. Martínez-Vega, 2003. Modeling the viscoelastic behaviour of amorphous polymers, Polymer, 44, 7199-7208.
- [4] W. Pilant, 1979. Elastic waves on Earth, Elsevier, Amsterdam, Holland.
- [5] Y. Kawada, H. Hagahasma and H. Hara, 2006. Irreversible thermodynamic and viscoelastic model for power-law relaxation and attenuation in rocks. Tectonophysics, 427, pp. 255-263.
- [6] Z. Bazant, 1988. Mathematical modelling of creep and shrinkage of concrete, Wiley, New York, USA
- [7] D. Craiem and R. Armentano, 2007. A fractional derivative model to describe arterial viscoelasticity, Biorheology, 44, 251-263.
- [8] C. Coussot, S. Kalyanam, R. Yapp and M. Insana, 2009. Fractional derivative models for ultrasonic characterization of polymer and breast tissue viscoelasticity, IEEE Transactions on Ultrasonics, Ferroelectrics and Frequency Control, 56 (4), pp. 715-726.
- [9] E. Strick, 1976. Wave propagation in consolidated sedimentary rock, Proceedings of the 46th Annual Meeting of the Society of Exploration Geophysics, 24-28.
- [10] H. Schiessel and A. Blumen, 1993. Hierarchical analogues to fractional relaxation equations, J. Phys. A: Math. Gen, 26, 5057-5069.
- [11] N. Heymanms and J. Bauwens, 1994. Fractal rheological models and fractional differential equations for viscoelastic behaviour, Rheologica Acta, 33, 210-219.
- [12] S. Liu, 1985. Fractal model for the ac response of a rough interface, Physical Review Letters, 55, 529-532.
- [14] A. Le Méahuté, R. Nigmatullin and L. Nivanen, 1998. Flèches du temps et géometrie fractal, Hermes, Paris, France.



- [13] E. Weibel and H. Elias, 1967. Quantitative methods in morphology, Springer, Berlin, Germany.
- [15] Y. Rabotnov, 1980. Hereditary Mechanics, Mir, Moscow, URSS.
- [16] Th. Kaplan and L. Gray, 1973. Effect of disorder on a fractal model for the ac response of a rough interface, Physical Review B, 32, 7360-7366.
- [17] H. Wall, 1972. Analytic theory of Continued Fractions, Chelsea, New York, USA
- [18] W. Rudin, 1976. Principles of mathematical analysis, Mc Graw-Hill, New York, USA



Campaña al Volcán Peteroa 2012

Darío Nelson Torres¹, Carlos A. Guzmán, Hernán Sánchez

¹ ICES Comisión Nacional de Energía Atómica, Av. General Paz 1499, San Martín, Argentina
dntorres@cnea.gov.ar

RESUMEN

El ICES desde hace varios años lleva adelante la instalación de un laboratorio emplazado en el Volcán Peteroa departamento de Malargüe al sur de Mendoza.

En el presente trabajo se presenta un resumen de las campañas realizadas durante el 2012 al volcán Peteroa. Dichas campañas se llevan a cabo con el objetivo de realizar actividades de mantenimiento general en la estación multiparamétrica, ampliación de obras, bajar datos e instalación de nuevos equipos.

En estas campañas se pretendía realizar la instalación de un aerogenerador para diversificar y ampliar la capacidad de generación de energía, ya que en dicho lugar no hay acceso a red eléctrica ni a comunicación. También se planeó colocar en una terma, que dista a 2Km de la base, sensores de CO₂ y temperatura y un radiómetro, para lo cual se debió construir las instalaciones necesarias en campo. Otro objetivo planteado era la instalación de un sistema de comunicación que sirviera de transmisión de datos desde la terma hasta la estación.

A pesar de lo complicado de la logística que implica este tipo de campañas, la escasez de recursos y los tiempos acotados, se pudiéndose lograr un porcentaje muy alto de concreción de las tareas propuestas. Cada campaña así mismo sirve como indicador de cómo el grupo va afianzándose en tareas de campo y de la experiencia acumulada que permite realizar logística de próximas campañas con mayor grado de resolución.

INTRODUCCIÓN

El Volcán Peteroa forma parte del complejo Planchón-Peteroa, se encuentra emplazado en los andes limitando con la República de Chile en el departamento Malargüe al sur de la provincia de Mendoza. El ICES-CNEA posee una estación multiparamétrica en la base de dicho Volcán a 2500m de altura aproximadamente y distante de la ciudad de Malargüe en línea recta a unos 70Km. Esta base está separada por unos 80m del puesto fronterizo de Gendarmería Nacional. Es una zona totalmente despoblada donde solo se encuentran en los alrededores y separados por varios kilómetros algunos puestos de veranada. El viaje hasta estas instalaciones es de 200km y cerca de 4 horas, por camino de montaña en su mayor parte de ripio. Cabe destacar que el camino está abierto y mantenido por Vialidad Nacional solamente en temporada estival, ya que en las restantes épocas del año los factores meteorológicos como la nieve, el viento y los derrumbes, convierten a la zona en una región totalmente inaccesible.



Las instalaciones con las que se cuentan en la actualidad en el citado laboratorio multiparamétrico son las siguientes: Tres recintos que se utilizan uno para hospedaje, equipado con baño cocina y cuatro camas, otro como recinto de equipos y el tercero contiene los bancos de acumuladores.

Las actividades que se realizan hasta la actualidad en esta estación son: el video monitoreo del Volcán mediante conexión satelital “on line” con una cámara operativa durante todo el año, el estudio de las ondas elásticas generadas por la geoestructura del complejo Planchón-Peteroa registradas mediante sensores de emisión acústica, mediciones de los diversos parámetros meteorológicos, relevamiento de los cambios de temperaturas de las fuentes termales vecinas, medición de la concentración de CO₂ por medio de sensores gaseosos y la radiación incidente en la zona mediante un radiómetro.

OBJETIVOS

Como objetivos se planearon una serie de labores con una orden de prioridades en función de la concatenación de tareas y de necesidades.

Colocación de un arreglo de cañerías soterradas para la futura instalación de un equipo de medición de infrasonido.

Encargar la construcción de dos torres, una para soportar el aerogenerador y la segunda para colocar paneles solares.

Traslado y ubicación en campo de la torre del aerogenerador, colocación del tendido eléctrico desde el aerogenerador hasta el recinto de baterías.

Se propone trasladar la segunda torre construida en Malargüe hasta el volcán Peteroa y disponer su colocación en cercanías de la terma para soportar paneles solares.

Debido a las observaciones realizadas en las campañas anteriores se propuso un cambio de lugar para la ubicación de la caseta contenedora de los equipos de medición, ya que en la cercanía inmediata a la terma el suelo era colapsable.

Instalación de un equipo para medir y registrar los valores de concentración de CO₂, de temperatura de agua de la terma y de ambiente en el mismo sitio y de un radiómetro.

Colocación de antenas “wi-fi” para comunicación de la terma a la base.

Agregar arriostramiento a la torre del aerogenerador, instalación y puesta en marcha del mismo.

Tareas de mantenimiento en general.

Tareas en campo

Para la realización de las tareas propuestas se planificaron un total de tres salidas al volcán.

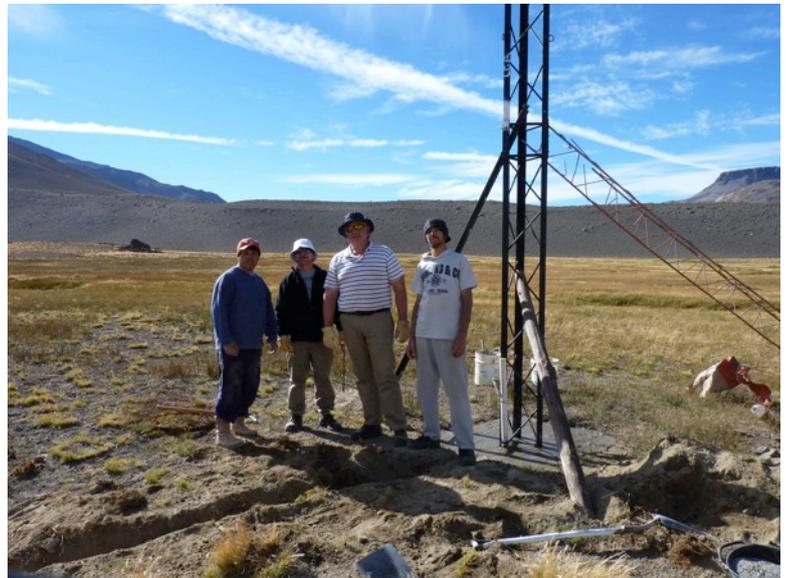
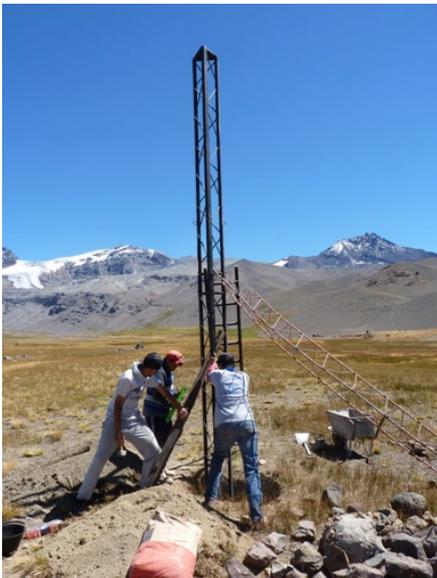
En la primera fueron necesarias una camioneta y tres personas para dos días de tareas, en la segunda una camioneta y cinco personas en tres días y la tercera dos camionetas y seis personas para cuatro días de trabajo.



En primer lugar se comenzó con los trabajos de enterrar un arreglo de forma octogonal, para la colocación de un sensor de infrasonido, inscripto en una circunferencia de 20m de diámetro en donde los ocho vértices se conectan con el centro por medio de un colector que aloja todas la acometidas y desde ahí sale un único conducto hacia el recinto de equipos. Se realizó también el tendido de una cañería de 30m en dirección este-oeste con acometida en el recinto de equipos.

Se hormigonaron los ocho puntos mas el centro y se dejaron con tapones para la posterior colocación de caños que servirán como captadores de las diferencias de presión que registrara dicho sensor.

En la segunda campaña se trasladó la torre del aerogenerador más todos los materiales necesarios para su colocación y una vez en el lugar se ubicó el emplazamiento definitivo a unos 80m al norte de la estación, se colocó un tendido subterráneo de cable desde la torre hasta el recinto de baterías.



En la última campaña se trasladaron los equipos a instalar, paneles solares, acumuladores torre para paneles de la terma, aerogenerador y los materiales necesarios.

Estando en la base se organizaron los grupos para realizar las diferentes tareas, se comenzó como primera tarea el traslado de los elementos necesarios para las obras destinadas a la instalación de los equipos que irían ubicados en la terma. En este lugar se realizó la fundación para la caseta de equipos y la colocación de la torre para los paneles solares y antena, instalación de sensores en la terma y colocación de equipos y acumuladores en la caseta, conexionado y puesta en marcha de los mismos.



Se hizo un repaso del sistema de generación eléctrica existente al momento en la estación y se detectó un problema en un banco de baterías debido al mal funcionamiento de un regulador, el cual fue finalmente reemplazado. Se prosiguió con el montaje del aerogenerador y el conexionado a la unidad de control y se dispuso su puesta en marcha observándose un correcto funcionamiento. Se realizaron múltiples tareas de mantenimiento y mejora de las instalaciones: trabajos de pintura, reparación de pérdidas de agua, coberturas de cañerías exteriores, escalones de acceso a los recintos, reparación de cerramientos corredizos, se colocaron seis columnas con su cimentación correspondiente para apoyar en ellas a futuro un sobre techo debido a que el peso de la nieve acumulada está deteriorando el estado del techo actual del recinto de hospedaje.

Descripción de los equipos instalados

Aerogenerador

Este dispositivo está compuesto por un rotor de una hélice del tipo monoblock bipala de acoplamiento directo, un generador asincrónico de inducción trifásico, con excitación mediante banco capacitivo. Tensión nominal de 380 V salida de 24 Vcc y una potencia nominal de 600 W. Tiene la ventaja de no poseer escobilla con lo que tiene un bajo mantenimiento y mayor confiabilidad.

Sensor de Gas temperatura y radiómetro

Equipo de medición de gases en la terma, este equipo está formado por una placa madre que contiene 8 canales de adquisición de datos, un puerto de comunicación serie y un banco de memoria para almacenar los valores medidos. Se alimenta con 24V DC, obtenidos de un banco de baterías alimentadas por paneles solares.

El control de todo el equipo se lleva a cabo con un microcontrolador Microchip PIC18F4550, y los valores medidos por los distintos sensores se digitalizan mediante un convertidor también Microchip, modelo MCP3208.

Los datos medidos serán almacenados en memorias EEPROM externas. Originalmente el diseño duplicaba los bancos, para tener redundancia de datos; posteriormente, para extender la capacidad de grabación a 12 meses se decidió unificar los bancos, sacrificando la redundancia.

Externos a esta placa, pero ubicados en la misma caseta, están el regulador de carga de baterías, las cuatro baterías y un convertidor de protocolo serial a Ethernet (marca Sollae, modelo EZL-200F-E); este último posibilita el acceso remoto al equipo desde la base científica a 2km de la terma. Para tal fin se instaló un enlace punto a punto del tipo Wifi, que consiste de dos antenas direccionales preparadas para trabajar en intemperie, marca Ubiquity, modelo Nanostation M5.



Dado que el consumo del conjunto es de aproximadamente 12W, se han instalado dos paneles solares de 12V / 65W en serie, marca Solartec, modelo K65T, y un banco de 4 baterías de 6V 175Ah en serie. Las baterías son marca Trojan, modelo T605S, de utilización en náutica, de tecnología de plomo ácido y ciclo profundo.

Se estima que esta configuración es suficiente para mantener la estación funcionando aun durante los días más cortos de invierno, cuando el sol provee muy poca energía a los paneles. A partir de los datos que obtendremos luego de un año de mediciones, si es necesario se agregarán a los paneles existentes otra serie de 65W, para duplicar la corriente de carga.

Dos de los canales disponibles en el conversor analógico a digital miden la temperatura interna del equipo y el voltaje del banco de baterías; con estos datos sabremos si será o no necesario agregar más paneles.

Un tubo de pvc de unos 7 metros de longitud y 5 centímetros de diámetro toma los gases que emanan de la terma, y los conduce hasta el sensor donde mide cada seis horas la concentración de dióxido de carbono. En el mismo proceso, se registra también, la humedad y la temperatura de los gases conducidos al equipo. El desplazamiento de los gases es ayudado por medio de un ventilador que se enciende minutos antes de cada medición.

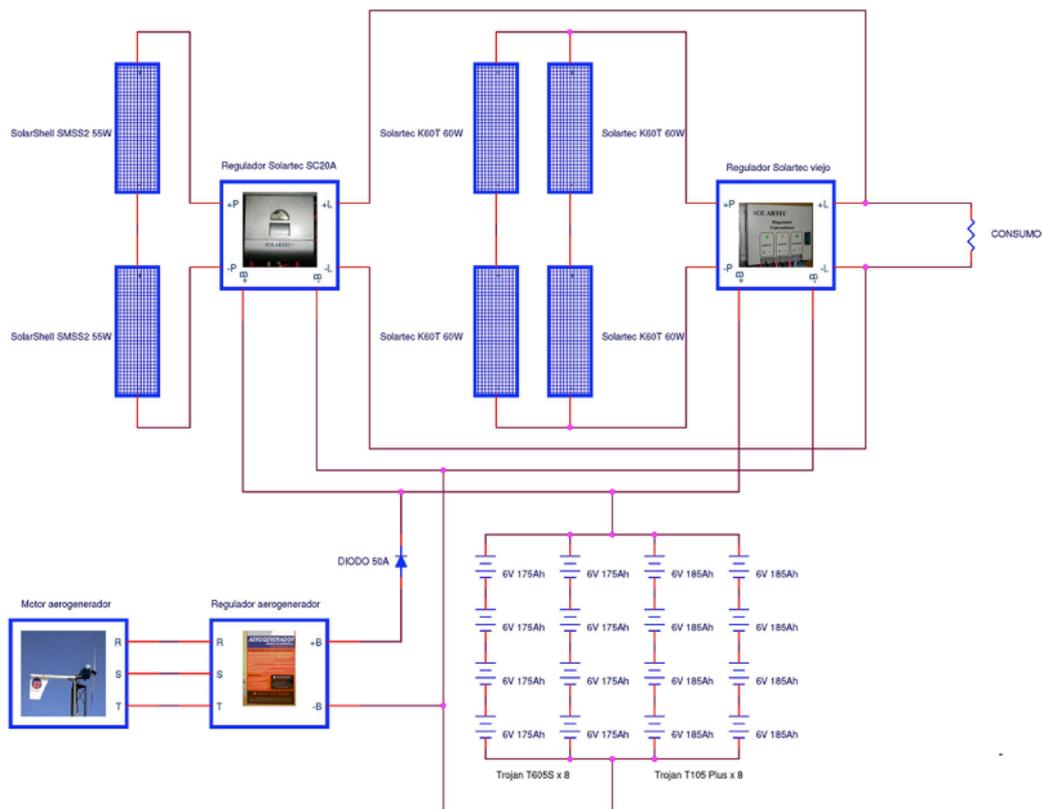
Se montó junto con el tubo de pvc que toma los gases de la terma, un sensor de temperatura sumergido en el agua termal, que a través de un cable blindado se conecta a otro de los canales del equipo.

La concentración de CO₂, temperatura y humedad de los gases termales, y temperatura del agua de la terma, se miden cada seis horas, es decir, cuatro veces por día.

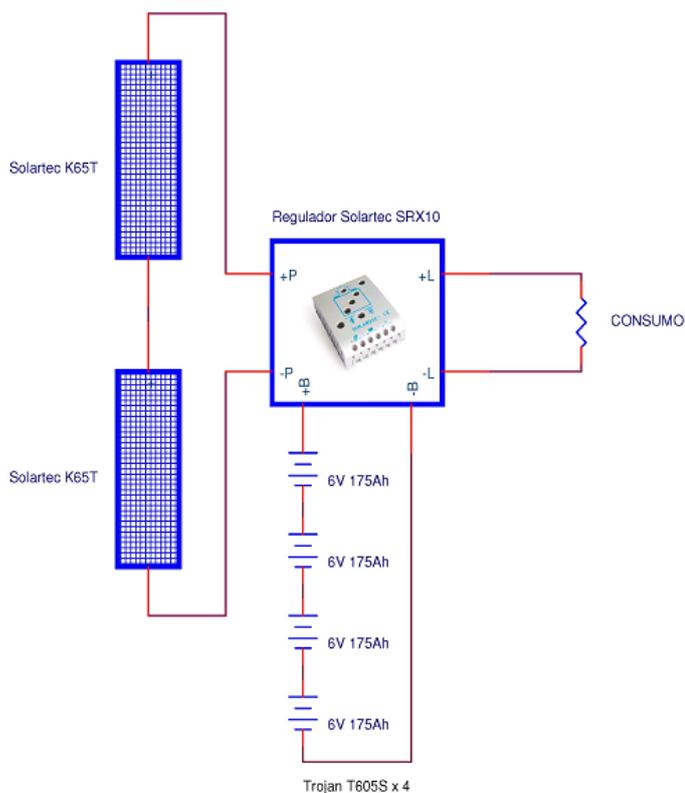
El sensor de dióxido de carbono es de marca E+E, modelo EE85, y mide por espectrometría infraroja.

El sensor de humedad es marca Honeywell, modelo HIH-3610.

Los sensores de temperatura son marca Microchip, modelo TC1047.



Esquema 1



Esquema 2



CONCLUSIONES

- Se pudieron cumplir mayoritariamente los objetivos propuestos.
- Quedó implementada y funcional las dos formas de alimentación solar y eólica pudiendo de esa forma ampliar y diversificar la generación de energía disponible.
- Se duplicó banco de baterías y se mejoró el conexionado del circuito eléctrico asegurando una mayor autonomía ante la falta de ambos vectores energéticos.
- La estación de la terma quedó operativa midiendo y registrando datos de los valores medidos (Temperatura de la terma, temperatura ambiente, CO2 y radiación) de forma totalmente autónoma.
- Se estableció una conexión Wifi del tipo punto a punto entre la terma y la base por medio de antenas de ancho de banda de 5 GHz.
- Se realizaron pruebas de enlace de la conexión satelital y la terma mediante un protocolo de comunicación desarrollado en CNEA.



Propuestas para la mitigación de la vulnerabilidad estructural ante peligros de origen hidrológico-geológico en el oasis mendocino

Torres, Jorge ⁽¹⁾, Cisneros, Héctor ^{(2) (3) (4)}, Ahumada, María Nélica ⁽³⁾

⁽¹⁾ Instituto Argentino de Energía "General Mosconi" Regional Oeste (IAE RO), Mendoza, Argentina.
Jorge.torres@iae.org.ar

⁽²⁾ Universidad Nacional de San Luis, Ejército de los Andes 950 - D5700HHW - San Luis - Argentina.
cisneros@unsl.edu.ar

⁽³⁾ Universidad Juan Agustín Maza Av. de Acceso Este, Lateral Sur 2245 - Guaymallén, Mendoza, Argentina

⁽⁴⁾ Universidad Nacional de Cuyo, Ciudad Universitaria, Mendoza, Argentina

Palabras Clave: Historia Ambiental - historia climática - Riesgos naturales. Peligros geológicos. Mendoza. Piedemonte. Gestión ambiental.

RESUMEN

Los desastres naturales relacionados con el clima son parte de la historia de Mendoza, manteniéndose estadísticas de ellos desde el Siglo XIX en forma continua, especialmente aquellos relacionados con eventos aluvionales, y otros igualmente dañinos que impactan directamente sobre la sociedad y las economías locales.

Si bien las variables naturales son una constante no así la variable antropogénica ocasionada por la actividad y asentamiento del hombre que es la que puso y pone aun hoy en día, en un riesgo mayor al no tomar medidas tanto eficientes como eficaces.

En una primera etapa del trabajo se realizó una recopilación de eventos a partir de archivos históricos, diarios, publicaciones, informes, etc, los cuales fueron catalogados y ordenados, de manera fehaciente y clara para poder encontrar aquellas medidas que contribuyan a la gestión de la resolución del riesgo aluvional que es el que mayor daño históricamente acarreo al área metropolitana de Mendoza.

En esta segunda etapa del trabajo se pretende presentar medidas posibles para la prevención, control, minimización y mitigación aplicada a la variable antropogénica que es en cierta medida sobre la que se puede accionar.

Estas medidas se clasificarán en Medidas Administrativas legales, Medidas Socioculturales y Medidas estructurales.

INTRODUCCIÓN

Las variables planteadas del tipo naturales (climática, hidrológica y geomorfológicas) y antropogénicas (crecimiento urbano) tienen la característica de complementarse



negativamente para mostrar el riesgo aluvional al que siempre estuvo sometido el área urbanizada de Mendoza, convertida actualmente en una metrópolis.

Las variables naturales es en sí una constante de producirse anualmente donde los avances tecnológicos y técnicos han sido más que nada de prevención o minimización de los efectos. Pero si nos referimos a la variable antropogénica originada por la actividad y asentamiento del hombre es efectivamente la que origina y pone aun hoy en día en un riesgo mayor.

Al crecimiento desmedido y desorganizado de las zonas urbanas se le agrega la falta de obras hidráulicas mayores y menores que amplíen y a la vez sean parte de un buen plan de evacuación eficiente de las aguas aluvionales.

La solución encontrada es necesariamente sistémica por sus diferentes variables que para enmarcarla en una clasificación de medidas a desarrollar, se plantea la misma de la siguiente manera:

Medidas con enfoque administrativo legal

Como la problemática se presenta en primer lugar en las decisiones políticas de la provincia por su falta de claridad y determinación, en lo referido al área técnica debido a la falta de medidas de prevención desde la etapa del planteamiento de los proyectos tanto de obras públicas como privadas y a su vez también en una escala menor lo encontramos en el área administrativa municipal donde existe un gran desorden con normas confusas que también son afectadas por los desencuentros sobre los límites entre municipios como también por los cambios de gobierno aumentando el riesgo aluvional.

El riesgo aluvional afecta a los municipios que están interactuando con el piedemonte, ellos son: Las Heras, Capital, Godoy Cruz y Lujan de Cuyo, y se traslada aguas abajo ya que toda la masa de agua proveniente de estas aéreas termina en los municipios de la zona Este del Gran Mendoza como Guaymallen, Lavalle, Maipú, etc.

Si bien hay normas y leyes dictadas, sobre el piedemonte como la ley n° 4886 que habla del mismo como área de reserva donde en el artículo 2 refiere a evitar la degradación y progresivo deterioro del ambiente, la ordenanza municipal de Lujan de Cuyo n° 1577/99 donde denomina también como zona de reserva el piedemonte (ZRP) a través de una planilla que contiene los emprendimientos permitidos y los no tienen autorización o permisos, entre otros.

Al día de hoy con la ley 8051 de Ordenamiento territorial que tiene a las demás del mismo tipo se está llevando a cabo foros y talleres a nivel federal pero el problema es el tiempo que está llevando mientras avanza la urbanización en desorden o en partes.



Se plantea en base a esta problemática que se debería optar:

1. Encuadrar toda la temática en una política de estado y no de gobierno, ya que si se la considera de gobierno esta puede variar con los cambios del mismo no así cuando es política de estado donde los planes de implementación están proyectados a 20,30 o 40 años.
2. Adoptar medidas provisorias que den margen de seguridad elevada en el desarrollo urbano y que a en la medida que se vaya incorporando lo demás se irá disminuyendo ese margen en forma proporcional a los efectos.
3. Realizar un trabajo conjunto entre los municipios afectados por el riesgo para consensuar normas iguales para ellos de manera de no obstaculizarse. Como sugerencia se podría apelar a alguna forma de premios y castigo para los que cumplan y atiendan las normas. Rever todo lo que atañe al sistema de control de obras desde su forma hasta los que tendrían que estar haciéndola cumplir.
4. Capacitación permanente y actualizada del plantel técnico en cada municipio en las nuevas técnicas y tecnologías así como la participación de ellos en las decisiones del municipio.
5. Se incorporara a los foros y talleres de trabajo de los municipios a instituciones como Irrigación, IPV, Universidades afines como el de Arquitectura, Ingeniería y ONG como aquellos que son ambientalistas, Uniones barriales, Cooperativas, etc. Los mismos se organizaran en forma eficiente y eficaz de manera de no caer en largos tiempos de debate.
6. Comunicar los resultados y las nuevas determinaciones plasmadas en normas a todos los miembros del área responsable como así también a la comunidad a través de panfletos, publicación vía internet, diarios, de personas que se dediquen en el municipio al asesoramiento en general.

Medidas con enfoque sociocultural

Este enfoque está referido a implementar en forma eficaz y eficiente un plan que parta como prioridad de las personas que habitaran los emprendimientos habitacionales como así todas aquellas estructuras complementarias a ellas como son los comercios, escuelas, centros deportivos, de recreación en general, ect.

Además debe tenerse en cuenta la interacción con diferentes estamentos sociales y complementarse con los aspectos normados por cada Municipio evitando conflictos territoriales que sean aprovechados para una construcción sin controles, como ya ha sucedido y sigue sucediendo en el piedemonte mendocino. Se deberá plantear una serie de preguntas para la realización detallada de cada planificación como serian:

- Hacia qué nivel social y educativo de la sociedad apunta?
- Cuales son sus expectativas sobre su vivienda y su entorno.
- Cual es el entorno ambiental general en el que estará inserto dichos emprendimientos.
- Qué tipo de conflictos pudiera surgir del mismo.



Será importante el rol que cumple los profesionales de asistencia pública, como las entidades intermedias.

Implementar una campaña de educación en todos los niveles educativos, como así también de la población en general; esto a partir de que un gran problemas en la obstrucción de los desagües pluviales y acequias con basura urbana.

En síntesis lo que se quiere lograr es que los emprendimientos constructivos e infraestructura complementarias y su entorno natural estén en armonía con los habitantes o usuarios de los mismos.

Medidas con enfoque estructural

Este enfoque es el de características más prácticas y técnicas ya que en el mismo se detalla todas las técnicas para prevenir, minimizar y atenuar el impacto de los aluviones y además aporta efectos positivos como lo es el ahorro energético, ahorro del agua que es crítica en esta región, como también en las mejorías hacia un ambiente y habitad saludable.

Las técnicas y tecnológicas que se mencionaran se fundamentan en la disminución del volumen de agua caída, reduciendo la velocidad del escurrimiento, y evitando la sedimentación de los cauces con el consiguiente bloqueamiento de ellos. Las mismas se utilizaran según las características de cada zona de la geografía del Gran Mendoza.

DUBI (Desarrollo Urbano de Bajo Impacto)

El concepto de DUBI (Desarrollo Urbano de Bajo Impacto) o también llamado en otros lugares DUHS (Diseño urbano Hidro-Sensible) se adapta a este entorno socio geográfico y aplica bien al tratamiento del riesgo aluvional. Surgió a principios de la década de los 90's bajo diversos nombres (Low Impact Development, LID en Estados Unidos, Water Sensitive Urban Design, WSUD en Australia y Sustainable Urban Drainage System, SUDS en el Reino Unido).

El concepto nace como solución a la alteración que la urbanización tradicional produce sobre la hidrología y el medio ambiente, debido fundamentalmente a la impermeabilización del terreno. Plantea la urbanización de la siguiente manera:

- Mantenimiento y protección de la red de drenaje natural.
- Técnicas que potencian la infiltración.
- Almacenamiento temporal.
- Desconexión de zonas impermeables.

Los objetivos está en su aplicación en diferentes escalas (lote, edificio, casa, calle, desarrollo, subcuenca y/o cuenca) y consisten en:

- Aprovechar el escurrimiento pluvial y proteger los cuerpos de agua receptores.



- Conservar y reciclar el agua (pluvial, potable y residual) en zonas urbanas.
- Proteger y/o rehabilitar corrientes superficiales, áreas ripiarias y recarga de acuíferos en zonas urbanas.
- Reducir gastos pico y prevenir inundaciones en áreas urbanas.
- Prevenir erosión y transporte de sedimentos en ríos, cauces y corrientes.
- Mejorar la calidad del escurrimiento superficial para evitar contaminación de cuerpos de agua y/o acuíferos.
- Integrar el tratamiento del escurrimiento superficial en el medio ambiente urbano.
- Eficientar la operación y minimizar el costo de la infraestructura de drenaje en zonas urbanas adaptado de [1] y [2]

A nivel de técnicas y tecnologías podemos nombrar:

Pozos y zanjas de infiltración

Son perforaciones y trincheras rellenas de material granular que sirven para recoger y almacenar el agua de escorrentía hasta que se produce la infiltración de la misma al terreno natural.

Superficies permeables

Se entiende por superficie permeable un pavimento construido por el hombre que permite el paso del agua. Estos sistemas están constituidos por un volumen de material permeable situado bajo una superficie que permite el paso del agua pudiendo tratarse de: césped, césped reforzado, grava, pavimento de bloques impermeables con huecos rellenos de césped o grava, pavimento de bloques impermeables con ranuras sin relleno alguno, pavimento de bloques porosos, o pavimentos continuos de cualquier tipo de mezcla porosa [3]

Drenes filtrantes o drenes franceses

Son zanjas recubiertas de un material llamado geotextil y van rellenas de grava, por dentro de la misma hay una circulación de agua que proviene en forma directa de la superficie de drenaje o también puede venir de una tubería de aportación [4]

Cunetas verdes

Son canales recubiertos con hierbas, estas conducen el agua de escorrentía proveniente de la superficie de drenaje hasta un sistema donde será almacenado o también está la posibilidad de ir a una conexión con el alcantarillado existente. Estos canales con vegetación suelen ubicarse en los costados o márgenes de las calzadas [5]



Franjas filtrantes

La franja filtrante es una sección de tierra con vegetación que posee una cierta inclinación, Su principal objetivo es filtrar una lámina de escorrentía para atrapar todo aquellos sólidos y aceites que se encuentran en el arrastre del agua. [5].

Depósitos de detención

Los depósitos de detención son depresiones diseñadas para frenar durante unas horas la escorrentía de las tormentas y permitir la sedimentación de los sólidos en suspensión. Su misión es la de laminar grandes avenidas, reduciendo los picos en el caudal y limitando los riesgos de inundación [6]

Se encontró sobre el tema en Mendoza una investigación del Instituto Nacional del Agua - Centro Regional Andino realizo donde se comparo los resultados de métodos convencionales y no convencionales (DUBI) sobre un barrio en el piedemonte mendocino en lo referido a los drenajes de dicha urbanización. La misma se aplico sobre tres escenarios posibles:

- I. Loteo convencional.
- II. Loteo DUBI
- III. Cuenca original.

SE considero una recurrencia temporal a 5 años, 10 años y 50 años y una tormenta con 60 minutos de duración. A modo de resumen se muestra los siguientes datos comparativos resultantes de la investigación.

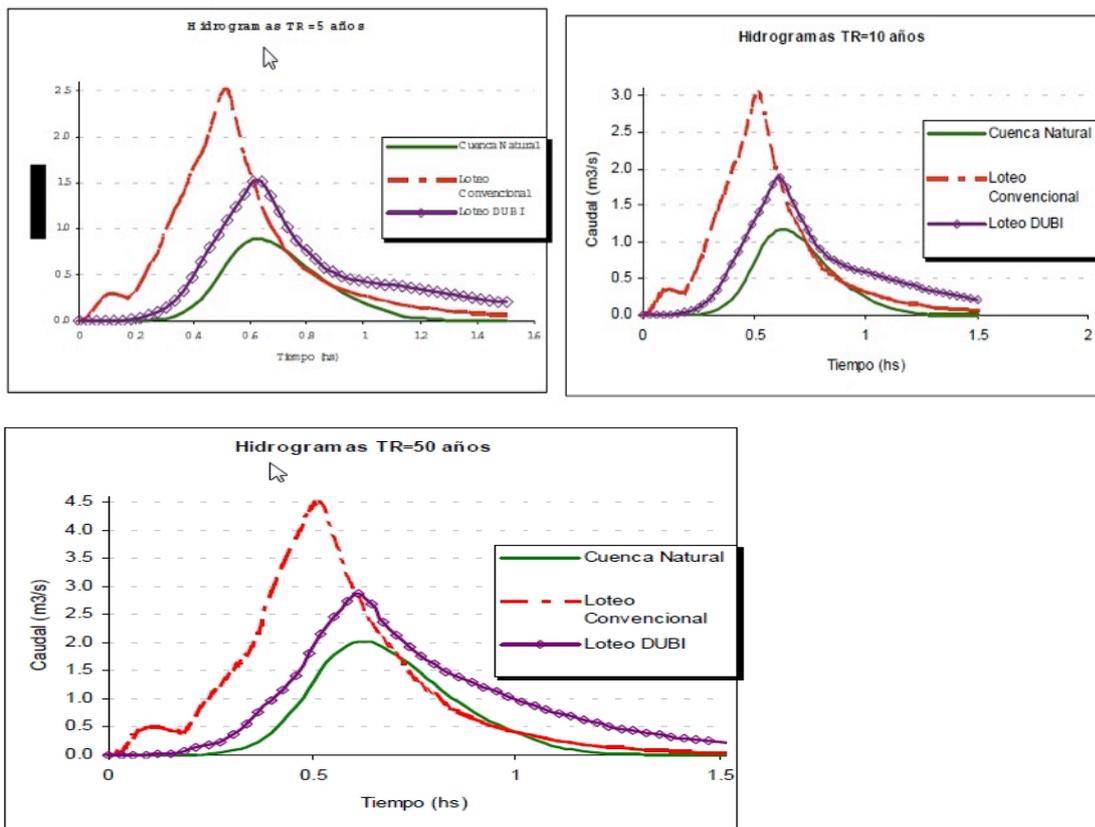
Resultados de la comparación hidrológica

Recurrencia	(Esc I) Loteo Convencional		(Esc. II) Loteo DUBI		(Esc. III) Cuenca original	
	Tp (hs)	Q (m ³ /s)	Q (m ³ /s)	Tp (hs)	Q (m ³ /s)	Tp (hs)
TR = 5 años	2.53	0.52	1.54	0.64	0.90	0.64
TR = 10 años	3.05	0.51	1.87	0.62	1.17	0.64
TR = 50 años	4.55	0.52	2.88	0.62	2.03	0.61

Fuente: Instituto Nacional Del Agua-Centro Regional Andino. Mendoza



Comparación de hidrogramas para TR (tiempo de recurrencia) a 5, 10, y 50 años



Fuente: Instituto Nacional Del Agua-Centro Regional Andino. Mendoza

Concluyeron que existe una reducción de importancia en los volúmenes y caudales pico en el orden del 40% para un tiempo de recurrencia de 5 años y cerca del 30% para un tiempo de recurrencia de 50 años y además viéndose un desfase en el tiempo al pico, es decir que llega menos agua en un tiempo mayor.” [7]

Otro ejemplo afín con este sistema es la urbanización del Barrio SUPE SUR (Sindicato Unido de Petroleros) en el departamento de Godoy Cruz Mendoza. El barrio fue uno de los varios emprendimientos habitacionales encarados por el sindicato en las décadas del '60 y '70. Según datos aportados por el director de Catastro de la Municipalidad de Godoy Cruz, Rolando Nicolai, el barrio SUPE Sur se construyó en tres etapas: la primera en 1964, la segunda en 1975 y la tercera y última en 1976. [9]. Como se visualiza en la fig.5, la urbanización sigue y respeta los cauces naturales por donde se desplazan las aguas aluvionales. También se respeta las terrazas naturales que el terreno presentaba y dejando muchos espacios verdes para la absorción de las aguas menguando así la velocidad de las mismas.



Fig.5 Fuente: Google map

Otras herramientas de fácil aplicación y bajo costo son:

Reforestación:

Como ya hemos mencionado una causa del incremento de la velocidad en la escorrentía aluvional es la erosión y deforestación provocada por la urbanización en aumento exponencial, los incendios naturales e intencionales, pastoreo sin planificación y otros. Por lo tanto sería una medida mitigadora como preventiva implementar un programa de reforestación con plantas autóctonas de la zona como muestra la Fig. 6ª Y 6B dos especies arbóreas de la zona, también encontramos arbustos como la jarilla, el chañar, el caldén, cortadera que es una gramínea etc.

Vegetación autóctona



Fig.6 A





Fig. 6B. "Cortadera"

Fuente: <http://www.bosqueeuca.com/parque/flora-fauna/>

Esta medida también podría ser aplicada en zonas urbanas donde se incrementara las áreas forestadas como espacios verdes, plazas y zonas verdes complementarias, pudiendo ya ser vegetación autóctona o no, de esta manera se aumentara el porcentaje de infiltración disminuyendo el volumen y velocidad del agua aluvional.

Trampas de agua:

Consiste en pequeños diques de tierra de poca altura hecha con maquinas topadoras las que estarían ubicadas geográficamente y en cantidad estratégicamente según estudios hidrológicos de las zonas afectadas. Para facilitar la evacuación del volumen de agua recogido por dichas trampas se construye un drenaje ubicado en el fondo de las trampas perpendicularmente a la traza del dique, siendo su profundidad de 1m con respecto al nivel original del cauce.

Esta técnica fue implementada a manera de prueba en la parte del piedemonte mendocino específicamente en la cuenca del Torrente del Maure emplazándose a 1000 m de los cauces primarios y secundarios donde se produce la mayor parte de todos los sedimentos de la cuenca y además va en forma transversal a los cauces.

La finalidad de las misma u objetivo es que la partición del cauce hace que cada trampa de agua y superficie de aporte actué como un sistema independiente.

Según estudios hechos donde se comprobó la eficacia de esta técnica frente a ninguna aplicación bajo idénticas condiciones que entre el hidrograma resultante en las condiciones naturales con la simulación resultante de la acción de las trampas de agua se noto una disminución o atenuación de los caudales al pico de 63,4% y en los volúmenes escurridos del 45,9% con un retardo en los tiempos al pico de 29,4%. [8]

En la Fig. 7 se ve una de las trampas de agua que fueron hechas para ver resultados y después de muchos años aun están y además se nota los beneficios secundarios como es la formación de suelo nuevo y un entorno de plantas autóctonas.



Esta tecnología es de bajo costo y posibilita múltiples beneficios ya que no solo retiene la velocidad del escurrimiento y sedimentos sino también aporta con el tiempo ecosistemas donde se recuperaría suelo natural, flora y fauna del lugar. [9]

Trampa de agua



Fig.7

Gaviones:

Los gaviones son estructuras de malla metálicas galvanizadas por la exposición que sufre ante el contacto del medio ambiente circundante, rellenas de piedras del mismo lugar donde irán emplazadas. Son estructuras muy resistentes, al no permitir la acumulación de presiones hidrostáticas, son permeables lo que alivian las grandes tensiones que se acumulan en los muros de tipo tradicional, debido a esta característica pueden tener su base bajo el nivel freático siempre que esta sea de carácter portante. Debido a su excelente flexibilidad soportan movimientos y asientos diferenciales sin pérdida de eficiencia.

Las ventajas y características son:

- Flexibilidad
- Permeabilidad
- Durabilidad
- Resistencia
- Versatilidad
- Integración paisajística
- No necesitan cimentación

El dique de gavión ubicado en los cauces, Fig. 8, produce el retardamiento del escurrimiento superficial y retención de materiales después de las lluvias y al colmatarse también produce una colonización de las comunidades biológicas del lugar como lo hacen las trampas de agua ya mencionados. El gavión también puede ser puesto para formar terrazas, evitando de esta manera la erosión del terreno. [10]



Dique de gavión



Fig. 8

Muro verde:

Los muros verdes o muros ecológicos son, técnicamente, Fig. 9, muros de tierra reforzada y estructuras de contención armados con geomalla de alta durabilidad y resistentes a la tracción y al deslizamiento, pudiendo revegetarse en su frontal protegiéndolo así de la erosión, estas geomallas pueden tener distintas resistencias a la tracción según lo requiera cada tipo de muro, con resistencia mecánica variable, y con posibilidad de combinarse de manera que resulte la necesaria resistencia a la rotura, siempre bajo los coeficientes de seguridad Normalizados.

Están compuestas por filamentos de poliéster de alta tenacidad y están recubiertas por una vaina protectora de P.V.C. El frontal o paramento puede estar reforzado con enrejados metálicos como encofrados perdidos ó encofrado de madera recuperable. Pudiendo así levantar estructuras sin límite de altura con pendiente variable con una inclinación máxima de 85°, obteniendo resultados de un alto rendimiento y un bajo impacto visual, manteniendo así un equilibrio ecológico con el entorno.[11]

Algunas de las ventajas más importantes son:

- Económicas.
- No transmiten cargas que sumen al terreno.
- Gran permeabilidad.
- Facilidad para la vegetación de los mismos.
- Gran durabilidad en el tiempo.



Muro verde

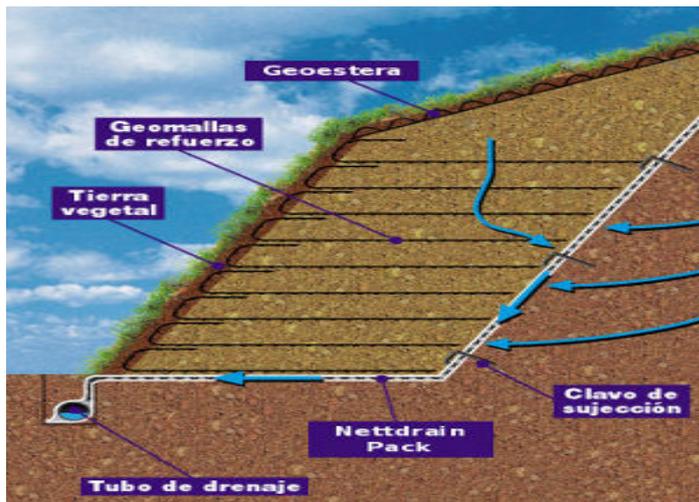


Fig.9 Fuente: <http://www.murotalud.com/gmc-geosynthetics/productos-drenaje.html>

Techos verdes

Básicamente, una cubierta verde es un sistema de ingeniería que permite el crecimiento de vegetación en la su parte superior de los edificios, ya sean techos o terrazas accesibles, proporcionando cierta protección a su estructura. En términos generales los techos verdes tienen un impacto neto positivo referido al ambiente al capturar agua de lluvia, reduciendo el volumen de caída al terreno y por consiguiente también reduce la velocidad de la misma, además los niveles de contaminación; mejoran la aislación térmica de los edificios y enfrían el aire; representan un hábitat para especies nativas o migratorias; y pueden ayudar a mejorar la calidad de vida.

Se dividen básicamente en dos clases o categorías:

Extensivas: son cubiertas livianas, de bajo mantenimiento y generalmente inaccesibles. Por lo habitual se plantan en esta categoría de cubierta verde especies de plantas con poco requerimiento de humedad, precisando solo entre 5 cm a 15 cm de sustrato y suelen perdurar con agua de lluvia dependiendo la ubicación geográfica de su emplazamiento.

Intensivas: su característica principal es su accesibilidad, contraria a las extensivas con sus sustratos espesos donde se albergan una gran variedad de plantas, logrando encontrarse desde plantas comestibles y arbustos, hasta árboles. Estas precisan una estructura soporte reforzada y demandan mayor mantenimiento e irrigación. [12]

Como muestra la Fig.10 técnicamente es un sistema multicapa, que posee una impermeabilización hidráulica y una membrana de pvc-p antiraíz. Contiene además un sistema de drenaje y filtro, que se agrega a una placa de retención de agua. Por lo general se una de sus características es tener una capa gruesa de sustrato, con la posibilidad de incluir un sistema de irrigación artificial.



Techo verde



Fig.10 Fuente: http://www.techosverdes.com.ar/jardines_sobre_cemento.html

Dispositivo regulador en boca de tormenta

En forma sintética, Fig11, el dispositivo consta de una entrada con sistema de retención de residuos, dos cámaras de almacenamiento interconectadas mediante orificio y vertedero, un orificio regulador de salida con conexión a la red. Estos elementos son calculados en función de la tormenta de proyecto adoptada, de los porcentajes de laminación y los tiempos de desembalse buscados.

La función del dispositivo es trabajar con almacenamientos distribuidos y regulados sobre los caudales antes que ingresen a los conductos de desagüe pluvial, los cuales adecuadamente laminados y combinados en la cuenca, permiten conformar picos regulados por diseño y manejar los desfases de hidrogramas de crecida en las subcuencas con los desembalses calculados para las tormentas de proyecto. Es decir en función de la capacidad actual de la red o conducto en estudio, se determina el grado de insuficiencia para conducir los excesos generados para una tormenta de diseño seleccionada. En base a esto y a la densidad de bocas de tormenta necesarias en la red, se diseñan los dispositivos para que generen los porcentajes de laminación y desembalse buscados para cada tormenta, con el fin de que combinados en el sistema pluvial se logren los efectos de atenuación acorde a la insuficiencia de la red existente. De esta forma se buscan evitar total o parcialmente los anegamientos, de acuerdo a las necesidades del proyecto. [13]



Dispositivo regulador en boca de tormenta

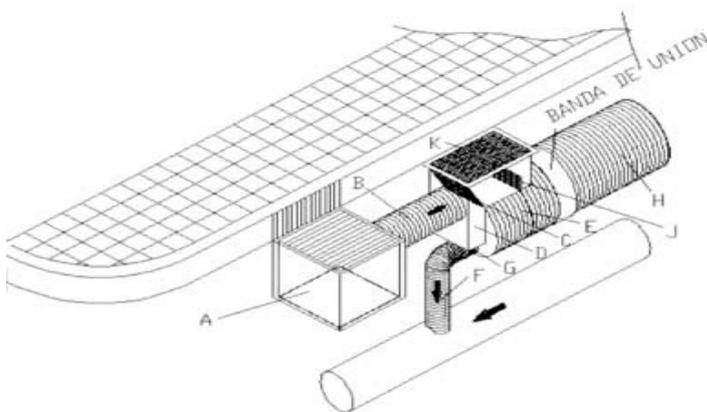
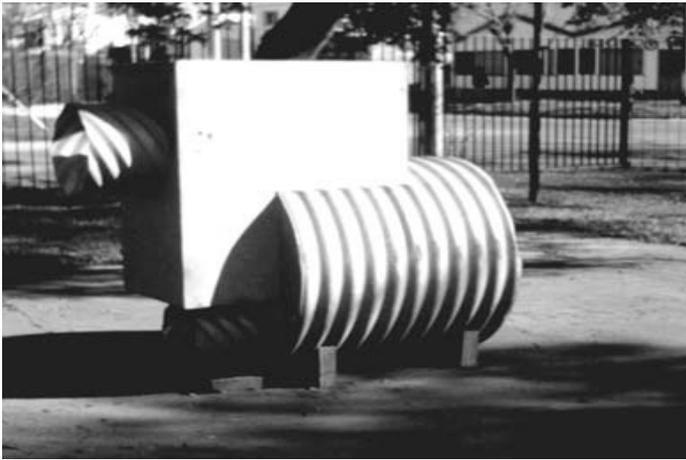


Fig.11 Fuente: Instituto Nacional Del Agua - Centro Regional Litoral. Santa Fe

Dispositivo regulador aplicado al sistema domiciliario en bajadas de techos

El sector de regulación revela una entrada superior por donde se observa el ingreso del desagüe derivada de los techos y forma el hidrograma de entrada al sistema. Cuenta con una de sus salidas regulada de forma tal que promueve a la atenuación necesaria del pico del hidrograma de entrada y respecto al excedente es conducido a un sistema de almacenamiento en donde se retiene la porción de volumen que sobra, descargándolo posteriormente en forma gradual en el tiempo, logrando alcanzar el efecto de laminación buscado

El reservorio podrá presentar diferentes formas, mientras siga estando de acuerdo con la arquitectura del edificio, debiendo tener, convenientemente, un vertedero de excesos por si es superada la capacidad de diseño y un orificio de desembalse pensado y calculado en función del tiempo de permanencia que se requiera, y que será conectado a la salida del desagüe existente. Su aplicación puede tener variantes de acuerdo a su finalidad, es decir que podrá ser único para distintos reguladores, o uno comunitario para distintos edificios, o bien implementarlos en forma separada y/o interconectada, lo que dependerá de las condiciones arquitectónicas del edificio o del complejo habitacional.[13]



Dispositivo regulador aplicado al sistema domiciliario en bajadas de techos

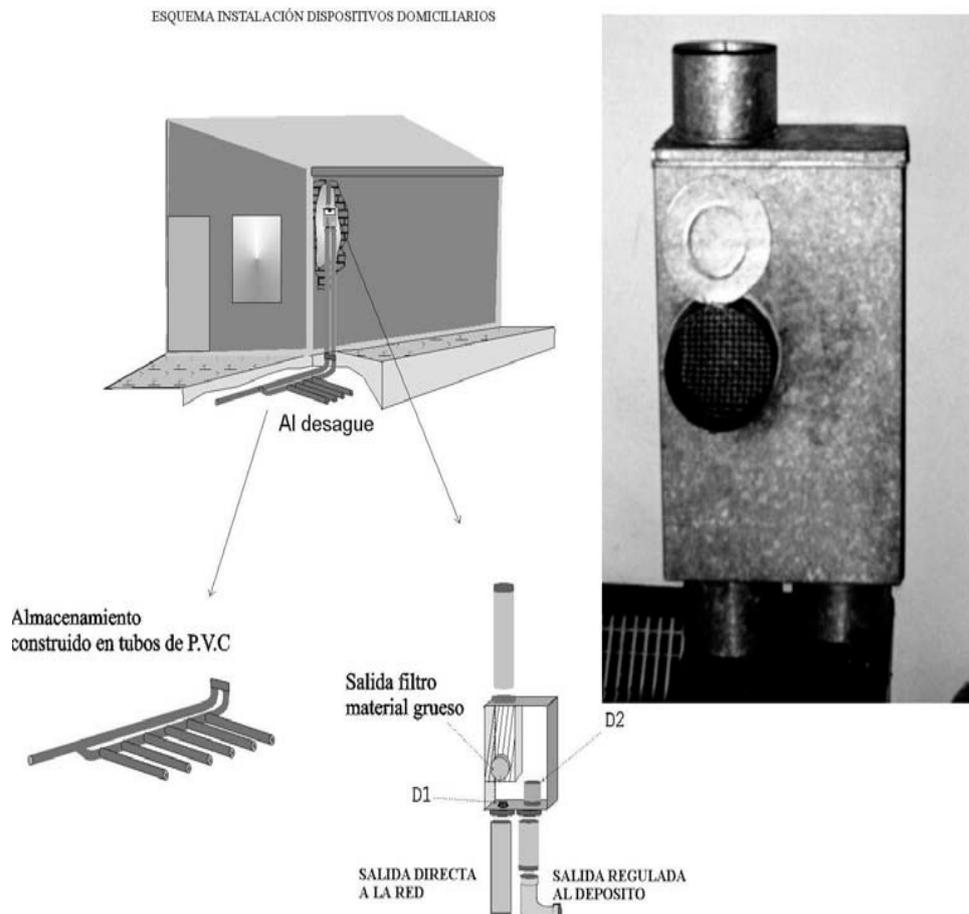


Fig.12 Fuente: Instituto Nacional Del Agua - Centro Regional Litoral. Santa Fe

A continuación para una mejor visualización de la aplicación de estos enfoques se sugirió dividir en tres zonas según la pendiente del terreno y su densidad edilicia. Ellas son: 1-Zona alta.2- Zona media. 3-Zona baja. Las mismas están representadas en un mapa temático de manera de comprender la problemática y las soluciones en sus diferentes variantes. Fig.13



Fig.13 Fuente: Google map

1. Zona Alta:

Esta zona posee la característica de mayor pendiente, donde se ubican los dique aluvionales menor densidad poblacional en relación a otras aéreas del Gran Mendoza además de la que recibe el primer impacto del arrastre de sedimentos aguas arriba..

Se sugiere a manera de mejorar el plan de evacuación de aguas aluviales, aplicar las siguientes tecnologías o técnicas como son:

- Gaviones en cauces y en forma de terrazas.
- Trampa de agua: mejorar las existentes e integrarlas a un proyecto que englobe la zona de riesgo y además que se integre a las nuevas urbanizaciones.
- Plan de reforestación de toda la zona pedemontana en los tres niveles de flora, es decir arbórea, arbustiva y aquellas rastreras de manera de afianzar y retener el suelo nuevo producto de la sedimentación que acarrea las aguas de lluvia.
- Muro verde. Utilizando los desniveles naturales existentes y los que surgen de la actividad del hombre.
- Integrar a las nuevas urbanizaciones el concepto de DUBI de manera de minimizar todo lo posible el impacto de estas ya que este avance es más rápido que las decisiones y acuerdos en el plano de leyes y normas.

2. Zona Media:

La característica de la zona media es de pendiente media pero de alta densidad urbana, es decir de edificaciones de distintas alturas y además se le agrega la gran pérdida de suelo filtrante por el avance del pavimento común.

Se sugiere en esta zona, los siguientes conceptos o tecnologías:



- Pavimento permeables. pavimento de bloques impermeables con ranuras sin relleno alguno, pavimento de bloques porosos, o pavimentos continuos de cualquier tipo de mezcla porosa.
- Zanjas filtrantes. Aprovechando que en esta zona se aplica ya el sistema de acequias tan renombrada a nivel mundial pero que en la actualidad se tendrá que aplicar el concepto de que sean también filtrante de manera controlada y en base a cálculos hidráulicos.
- Dispositivo regulador en boca de tormento, convenientemente aplicado a aquellas avenidas con orientación Oeste-Este con sus calles que la interceptan. Permiten conformar picos regulados por diseño y manejar los desfases de hidrogramas de crecida en las subcuencas con los desembalses calculados para las tormentas preconcebidas.
- Dispositivo regulador aplicado al sistema domiciliario en bajadas de techos, pero también adaptados a todos los edificios tanto públicos como privados.
- Techos verdes sobre todo en las edificaciones cubiertas de mayor superficie como son los edificios públicos ya sean teatros, edificios de gobierno, centros culturales, etc. y actualmente con el avance de edificios privados de altura.

3. Zona Baja:

La característica de esta zona de poseer una pendiente leve con una concentración urbana dispar segmentada y además donde se deposita la sedimentación que ha formado los suelos productivos del Gran Mendoza.

Se sugiere lo siguiente.

- Conservar las áreas o zonas verdes y por otro lado incorporar a los nuevos barrios amplias parques con sistema de filtración y depósitos que reciclen estas aguas de lluvia.
- Zanjas verdes y acequias filtrantes.
- Pavimentos permeables o filtrantes.
- Techos verdes en lo posible.
- Aprovechar si lo hubiere los desniveles con muros verdes inclusive tratar de integrar al proyecto arquitectónico los gaviones.
- Utilizar un sistema de trampa de agua de manera de captar la sedimentación y a la vez evitar el lavado de los nutrientes del suelo.

CONCLUSIÓN

Se concluye que Mendoza tiene un nivel bueno de correspondencia con las propuestas tanto técnicas-tecnológicas como en lo referido a producir un cambio de criterio tendiente a mejorar lo existente y preservar el patrimonio natural y las vidas que son responsabilidad de toda la comunidad.



Las propuestas dadas en esta contribución tienden a congeniar las características locales (calles y avenidas anchas con sus acequias, plazas y espacios verdes; creadas a partir de ordenamiento sismoresistente) y por su situación climatológica (pocas lluvias y concentradas en el verano).

Se observa también una serie de eventos públicos de gobierno, como foros y talleres que se están llevando adelante para tratar implementar la ley de Ordenamiento Territorial como así organismos como Irrigación que esta normando sanciones para quienes contaminen con residuos los cauces y acequias de Mendoza. Todo esto es lo que da la afinidad con lo propuesto y es en lo que se baso para que tenga viabilidad.

Finalmente las medidas que se adopten deberán salir del acuerdo entre la mayor parte de los distintos actores protagonistas, pero sin dejar a la vez de tomar medidas prácticas, eficientes y eficaces que se estén aplicando en tanto vayan saliendo las leyes y normas acordadas, de lo contrario la historia de Mendoza seguirá relatado y mostrado la destrucción y pérdidas de vidas.

REFERENCIAS

- [1] Whelans, C., Halpern Glick Maunsell and Thompson, P. (1994). Planning and Management Guidelines for Water Sensitive Urban (Residential) Design, Prepared for the Water Authority of Western Australia: 32p.
- [2] CSIRO (1999). Urban Stormwater: Best Practice Environmental Management Guidelines. Melbourne, CSIRO Publishing: 268p.
- [3] CIRIA C523 (2001) Sustainable urban drainage systems, best practice manual for England, Scotland, Wales and Northern Ireland. Construction Industry Research and Information Association. Londres, RU. 131 pp.
- [4] National SUDS Working Group (2003) Framework for Sustainable Drainage Systems (SUDS) in England and Wales. TH-5/03-3k-C-BHEY. 75 pp.
- [5] MINVU-DICTUC (1996) Técnicas alternativas para soluciones de aguas lluvias en sectores urbanos. Guía de diseño. Dirección de Investigaciones Científicas y Tecnológicas. Ministerio de Vivienda y Urbanismo. Santiago, Chile. 670 pp.
- [6] EPA 1999 Preliminary Data Summary of Urban Store Water Best Management Practices. Office of Water, United States Environmental Protection Agency. Washington DC, EEUU. EPA-821-R-99-012. 210 pp.
- [7] Burgos Victor H. (2006). Desarrollo Urbano de Bajo Impacto Hidrológico (DUBI). Instituto Nacional Del Agua-Centro Regional Andino. Mendoza
- [8] Furlano Marcela. "SUPE Sur, el barrio de petroleros en el piedemonte mendocino".Diario Uno, Mendoza, 13/09/2009
- [9] Pedrani A., A. Mariani, A. Vich y M. Nave (1993) Ensayo con trampas de agua como una alternativa para la corrección de torrents en el piedemonte Mendocino. Unidad de Manejo Ecológico de Cuencas, CRICYT, CC 131,5500 Mendoza



- [10] Vich A. (1996). Manejo del piedemonte mendocino. Unidad Ecológica y Manejo de Cuencas Hídricas, CC 330,5500 Mendoza
- [11] <http://www.murotalud.com/gmc-geosynthetics/productos-drenaje.html>
- [12] Briz Julián (1999). Naturación Urbana: Cubiertas Ecológicas y Mejora Medioambiental. Cap.5. Segunda Edición 2004. España. Pág. 105-110
- [13] Secchi A.; Mazzón R. (2004) Nuevas Tecnologías para contribuir a la solución de inundaciones en grandes ciudades. Instituto Nacional Del Agua - Centro Regional Litoral. Santa Fe.



Propiedad de monotonicidad de índices de similitud y disimilitud usados en ecología

Patricia S. Torres¹ y Sergio Camiz²

¹ Cátedra de Ecología, Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Rosario

² Dipartimento di Matematica Guido Castelnuovo, Sapienza Università di Roma

patrizia662@gmail.com

RESUMEN

Los índices de similitud y disimilitud basados en datos binarios han sido ampliamente usados en Ecología de comunidades, ya sea, para agrupar las unidades experimentales como las especies de una comunidad biótica. Índices similares o idénticos fueron aplicados subsecuentemente en otras disciplinas biológicas. Como resultado del esfuerzo por cuantificar la asociación o similitud en varios campos de la Biología, han aparecido una gran cantidad de medidas. Se encuentran actualmente en la literatura más de 50 índices de similitud o disimilitud. Algunos coeficientes son simplemente funciones de otros, mientras que la disimilitud se puede calcular como un complemento de la similitud. Existen varias propiedades que deben cumplir los índices de similitud o disimilitud para ser considerados “buenos índices”. Entre ellas se encuentra una que se refiere a la monotonicidad de los índices con la raíz cuadrada del Chi-cuadrado. Una forma simple de testar la monotonicidad empíricamente es calcular el coeficiente de correlación de Pearson entre ambos. El objetivo de este trabajo es evaluar la propiedad de monotonicidad de 43 índices de similitud/disimilitud encontrados en la literatura, a partir de procedimientos de simulación. Se generaron muestras de tamaño 100, de vectores de datos de presencia-ausencia a partir de distribuciones Bernoulli con diferentes valores de probabilidad de suceso, entre los cuales se calcularon los distintos índices de similitud. La mayoría de los índices estudiados cumplieron con la propiedad de monotonicidad. Se encontraron unos pocos índices con una correlación extrema, tanto fuerte como débil, mientras que la mayoría mostró una relación moderadamente fuerte.

INTRODUCCIÓN

Los índices de similitud y disimilitud basados en datos binarios fueron ampliamente usados en Ecología de comunidades, ya sea, para agrupar las unidades experimentales como las especies de una comunidad biótica ([1], [2]).

Índices similares o idénticos fueron aplicados subsecuentemente en psicología, etnología ([3]), taxonomía ([4]) y otras disciplinas biológicas. En cada una de estas disciplinas, que involucran clasificación numérica, se utilizan índices de similitud o asociación para medir la correlación entre entidades y descriptores respectivamente.

Como resultado del esfuerzo por cuantificar la asociación o similitud en varios campos de la Biología, han aparecido una gran cantidad de medidas. Se encuentran actualmente en la literatura más de 50 índices para medir la similitud (disimilitud) entre individuos, objetos o unidades experimentales, algunos de los cuales también se pueden emplear para comparar



variables. Algunos coeficientes son simplemente funciones de otros, mientras que la disimilitud se puede calcular como un complemento de la similitud y viceversa. Sin embargo, poco se sabe sobre las propiedades de los mismos.

Se encuentran en la literatura varios trabajos dirigidos a analizar y confrontar estos coeficientes ([5], [6], [7], [8], [9], [10] y [11]), como así también para guiar al investigador en la elección de la medida de asociación adecuada al estudio de los fenómenos. Un análisis más importante desde el punto de vista matemático fue hecho por [12]. [13] y [14] han presentado algunas propiedades de los coeficientes de similitud y en particular sus capacidades para producir matrices de distancia métricas y euclidianas. La revisión más completa de los coeficientes de similitud es debida a [15] quien publicó un trabajo presentando una multiplicidad de 43 coeficientes de asociación (similitud y/o disimilitud), probablemente la colección más completa. El objetivo de su investigación consistió en comparar teórica y empíricamente dichos coeficientes y seleccionar un grupo de aquellos que serían encontrados más útiles y teóricamente menos objetables. [15] considera varias condiciones axiomáticas o propiedades que deben cumplir los índices para ser considerados admisibles. Su trabajo consistió en probar 5 propiedades que él consideró fundamentales, a saber: existencia de un mínimo, de un máximo, simetría, discriminación entre asociación positiva y negativa y monotonicidad. Si bien las 4 primeras propiedades se pueden probar teóricamente, la última (monotonicidad) fue probada en forma empírica y solamente en aquellos coeficientes que cumplían todas las propiedades anteriores. Esta propiedad se refiere a la monotonicidad de los índices de similitud con la raíz cuadrada del Chi-cuadrado ($\sqrt{\chi^2}$).

Una forma simple de testarla empíricamente es calcular el coeficiente de correlación de Pearson entre un índice de similitud y la $\sqrt{\chi^2}$. [15] trabajó con una matriz de datos reales y encontró que de 32 coeficientes, la mayoría (26) cumplían dicha propiedad y solamente 6 no eran admisibles. Sin embargo [15] trabajó midiendo la co-ocurrencia de una especie fungal en 869 muestras tomadas en pájaros y en sus nidos, por lo tanto su experimento corresponde a un estudio específico llevado a cabo a campo y en laboratorio. Resultaría de interés probar la propiedad de monotonicidad en datos simulados bajo distintos escenarios.

El objetivo de este trabajo es evaluar la propiedad de monotonicidad de 43 índices de similitud/disimilitud encontrados en la literatura a partir de procedimientos de simulación.

MÉTODOS

Se estudia por simulación la propiedad de monotonicidad de los índices de similitud/disimilitud más usados en Ecología. En primer lugar, se simulan 5 vectores de datos de tamaño 10 desde una distribución binomial puntual con diferentes valores para la probabilidad del suceso para cada descriptor. En estudios de ecología vegetal, estos vectores representan unidades muestrales de vegetación donde cada elemento (1 o 0) indica la



presencia-ausencia de una especie vegetal con diferente probabilidad de presencia en la región o unidad observada. Las situaciones consideradas fueron las siguientes:

- 1) las 10 especies tienen probabilidad de presencia creciente ($p=0.05, 0.10, 0.25, 0.30, 0.45, 0.50, 0.65, 0.70, 0.85, 0.90$),
- 2) 7 especies vegetales tienen baja probabilidad de presencia ($p=0.05$ ó 0.10) y otras 3, probabilidad alta ($p=0.70, 0.85, 0.90$),
- 3) 7 especies tienen alta probabilidad de presencia ($p=0.85$ ó 0.90) y otras 3, probabilidad baja ($p=0.05, 0.10, 0.25$),
- 4) 5 especies tienen probabilidad baja ($p=0.25$) y 5 probabilidad alta ($p=0.60$),
- 5) 5 especies tienen probabilidad muy baja ($p=0.05$) y 5 muy alta de suceso ($p=0.85$).

Una vez simulado un vector de 0 y 1, de acuerdo a los 5 escenarios supuestos, se aleatorizan los valores dentro de cada vector dando lugar a un total de 100 vectores distintos, los cuales serán comparados de a pares construyendo para cada caso una tabla de frecuencias de 2x2 como la siguiente (Tabla 1):

Tabla 1: Tabla de contingencia general para la comparación de 2 variables dicotómicas (J y K) en el caso de grupos independientes

		K		
		presente	ausente	
J	presente	A	b	a+b
	ausente	C	d	c+d
		a+c	b+d	

Donde: J y K son los vectores a comparar

a: es el número de atributos que J y K tienen en común (presencia conjunta)

b: es el número de atributos presentes en J solamente

c: es el número de atributos presentes en K solamente

d: es el número de atributos ausentes en J y K (ausencia conjunta)

Con los valores de los índices se construyó una matriz de similitud de 100 filas y 100 columnas. Esta última da lugar a 4950 valores distintos para cada índice, valor que a veces es menor porque se producen algunas indeterminaciones en el denominador del índice ([16]).

Una matriz del mismo tamaño se construyó con el cálculo de $\sqrt{\chi^2}$. El procedimiento fue sistematizado utilizando IML de SAS (versión 9). Se calculó el coeficiente de correlación de Pearson entre los valores del índice y los valores de la raíz del chi cuadrado y se obtuvo la significancia estadística con el programa Statgraphics Centurion XV (Versión 15.2.06). Para agregar información sobre las propiedades que deben cumplir los índices para ser considerados “buenos índices”, se evaluó la distribución de los mismos. Según [15], esta propiedad expresa que sobre una muestra de permutación grande, la distribución aleatoria de las unidades experimentales debería tener una distribución razonablemente homogénea,



aproximada a la normal. Para ello con los 4950 valores de la matriz de similitud de 100 filas y 100 columnas se construyeron histogramas, se calcularon medidas descriptivas y se probó la normalidad utilizando el test de Shapiro-Wilks con el programa Statgraphics Centurion XV (Versión 15.2.06).

RESULTADOS

La mayoría de los índices estudiados (95%) cumplieron con la propiedad de monotonidad, mostrando una correlación positiva con la estadística $\sqrt{\chi^2}$, con una significancia $p \leq 0,05$.

No se encontraron índices cuyas distribuciones cumplan el supuesto de normalidad (test de Shapiro-Wilks). Dos distribuciones cumplieron el supuesto de simetría (Hamman y Sokal & Michener) y siete presentaron una curtosis acorde a una distribución normal (Cohen, Goodman & Kruskal, Sokal & Sneath_5, Jaccard, Faith, Sorensen y Russell & Rao).

Se encuentran en la Tabla 2 las correlaciones ordenadas de mayor a menor y clasificadas en grupos de acuerdo a la magnitud de la correlación, su nivel de significancia y el intervalo de variación de cada índice.



Índice de similitud	Intervalo	Correlación de Pearson	Significancia
grupo 1: correlación de Pearson en el intervalo $0,90 \leq r \leq 1$			
Yule 1 (1912); Pearson & Heron (1913)	[-1,1]	1,0000	0,0001
Maxwell & Pilliner (1968)	[-1,1]	0,9997	0,0001
Pearson 2 (1905)	[0,1]	0,9915	0,0001
Cohen (1960)	[-1,1]	0,9895	0,0001
Peirce 2 (1884)	[-1,1]	0,9877	0,0001
Fleiss (1975)	[-∞, ∞]	0,9778	0,0001
Michael (1920)	[-1,1]	0,9707	0,0001
Scott (1955)	[-1,1]	0,9634	0,0001
Hamann (1961)	[-1,1]	0,9482	0,0001
Pearson 1 (1905)	[0,∞]	0,9436	0,0001
Doolittle (1885); Pearson (1926)	[0,1]	0,9436	0,0001
Yule 2 (1900)	[-1,1]	0,9373	0,0001
Baroni-Urbani & Buser 2 (1976)	[-1,1]	0,9153	0,0001
McConaughy (1964)	[-1,1]	0,9130	0,0001
Loevinger (1948)	[-∞, 1]	0,9121	0,0001
Goodman & Kruskal (1954)	[-1,1]	0,9097	0,0001
Yule 3 (1912)	[-1,1]	0,9079	0,0001
grupo 2: correlación de Pearson en el intervalo $0,70 \leq r \leq 0,80$			
Tarwid (1960)	[-1,1]	0,7821	0,0001
Mountford (1962)	[0,1]	0,7796	0,0001
Fager & McGowan (1963)	[-1,1]	0,7789	0,0001
Sokal & Sneath 5 (1963)	[0,1]	0,7498	0,0001
Sokal & Sneath 3 (1963)	[0,∞]	0,7424	0,0001
Rogers & Tanimoto (1960)	[0,1]	0,7175	0,0001
Sokal & Sneath 1 (1963)	[0,1]	0,7111	0,0001
Sorgenfrei (1959)	[0,1]	0,7090	0,0001
grupo 3: correlación de Pearson en el intervalo $0,60 \leq r \leq 0,70$			
Kulczynski 1 (1927)	[0,∞]	0,6656	0,0001
Jaccard (1901)	[0,1]	0,6551	0,0001
Sokal & Sneath 2 (1963)	[0,1]	0,6489	0,0001
Sokal & Michener (1958)	[0,1]	0,6392	0,0001
Faith (1983)	[0,1]	0,6009	0,0001
grupo 4: correlación de Pearson en el intervalo $0,50 \leq r \leq 0,60$			
Driver & Kroeber (1932); Ochiai (1957)	[0,1]	0,5612	0,0001
Baroni-Urbani & Buser 1 (1976)	[0,1]	0,5601	0,0001
Dice (1945); Sorensen (1948)	[0,1]	0,5582	0,0001
Johnson (1964)	[0,2]	0,5548	0,0001
Sokal & Sneath 4 (1963)	[0,1]	0,5460	0,0001
Kulczynski 2 (1927)	[0,1]	0,5421	0,0001
Braun-Blanquet (1932)	[0,1]	0,5397	0,0001
Forbes (1907)	[0,∞]	0,5070	0,0001
grupo 5: correlación de Pearson en el intervalo $0,40 \leq r \leq 0,50$			
Legendre & Legendre (1998)	[0,1]	0,4852	0,0001
Simpson (1943)	[0,1]	0,4780	0,0001
Russell & Rao (1940)	[0,1]	0,4098	0,0001
Eyraud (1936)	[-1,0]	-0,0133	0,3556*
Peirce 1 (1884)	[0,1]	-0,0002	0,9861

*corresponde al coeficiente de correlación de rangos de Spearman

Tabla 2: coeficientes de correlación de Pearson entre 43 índices de similitud y \sqrt{x} , sus valores de significancia y el intervalo de cada índice.



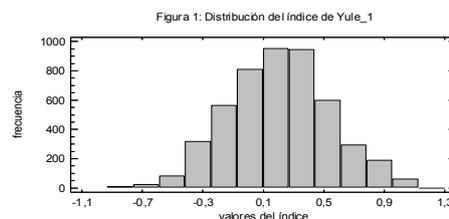
Los dos últimos índices (Eyraud y Peirce_1) no mostraron correlación estadística significativa, incluso la correlación encontrada fue negativa. Para el índice de Eyraud se debió trabajar con el coeficiente de correlación no paramétrico de rangos de Spearman ([17]) ya que la distribución del mismo resultó fuertemente asimétrica.

Un 39% de los índices (grupo 1) mostraron una correlación positiva alta ($0,90 \leq r \leq 1$) con $\sqrt{\chi^2}$ la mayoría de ellos (70%) varían en el intervalo $[-1,1]$, mientras que el 76% contienen en el numerador la expresión “ad-bc”, que es además el numerador de $\sqrt{\chi^2}$.

Se muestran a continuación las expresiones de los índices del grupo 1 junto con sus distribuciones, de las cuales solamente el índice de Hamann (A_9) cumple con la propiedad de simetría mientras que los índices de Yule_1 (A_1) y Goodman & Kruskal (A_{16}) cumplen con la propiedad de curtosis.

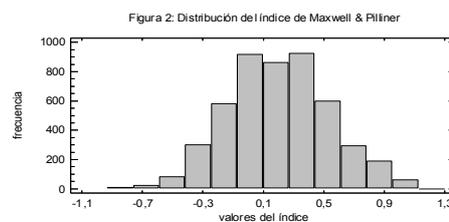
$$A_1 = \frac{ad - bc}{\sqrt{(a+b)(c+d)(a+c)(b+d)}}$$

Yule_1 (1912); Pearson & Heron (1913) $r=1,0000$



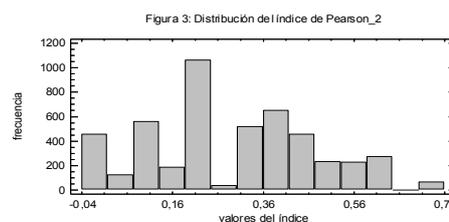
$$A_2 = \frac{2ad - bc}{(a+b)(c+d) + (a+c)(b+d)}$$

Maxwell & Pilliner (1968) $r=0,9997$



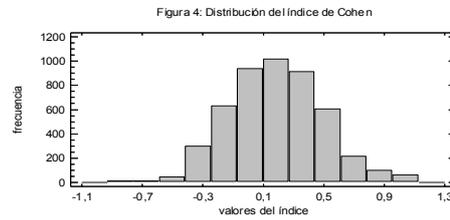
$$A_3 = \frac{\chi^2}{\sqrt{1 + \chi^2}}$$

Pearson_2 (1905) $r=0,9915$

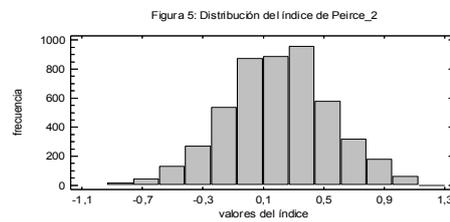




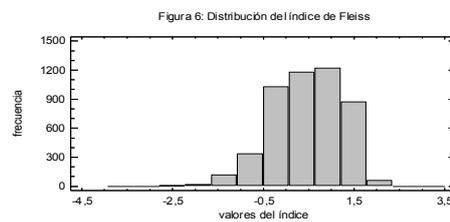
$$A-1) = \frac{2a \cdot b \cdot c}{(a+b)(c+d) + (a+c)(b+d)} \quad \text{Cohen (1960) } r=0,9895$$



$$A-1) = \frac{a \cdot b \cdot c}{(a+c)(b+d)} \quad \text{Peirce}_2 (1884) \quad r=0,9877$$



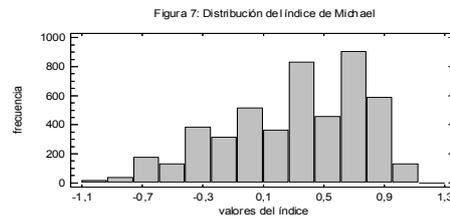
$$A-\infty) = \frac{(a+b)(c+d) + (a+c)(b+d)}{(a+b)(c+d) + (a+c)(b+d)} \quad \text{Fleiss (1975) } r=0,9778$$





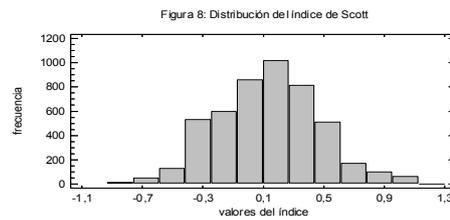
$$A-U = \frac{4ac(b-d)}{(a+d)^2 + (b+c)^2}$$

Michael (1920) $r=0,9707$



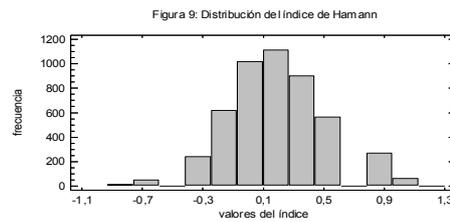
$$A-U = \frac{4ac(b-d) - (b-d)^2}{(2ab+c)(b+c+2d)}$$

Scott (1955) $r=0,9634$



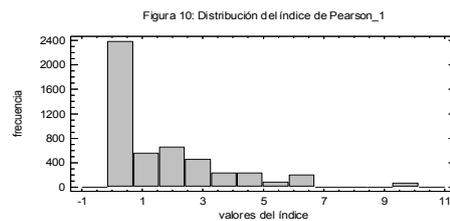
$$A-U = \frac{ad+bc}{n}$$

Hamann (1961) $r=0,9482$



$$A-U = \frac{r(ac+bd)}{(a+b)(c+d)} = \chi^2$$

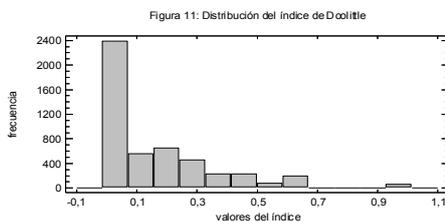
Pearson_1 (1905) $r=0,9436$





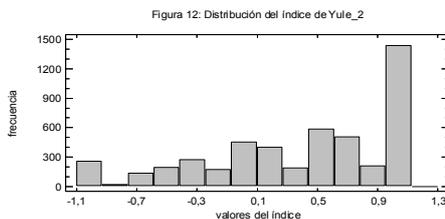
$$A_{(1)} = \frac{(a+le)^2}{(a+b)(a+c)}$$

Doolittle (1885); Pearson (1926) $r=0,9436$



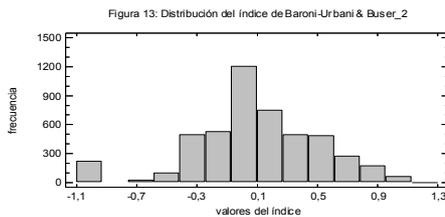
$$A_{(1)} = \frac{a+le}{a+le}$$

Yule_2 (1900) $r=0,9373$



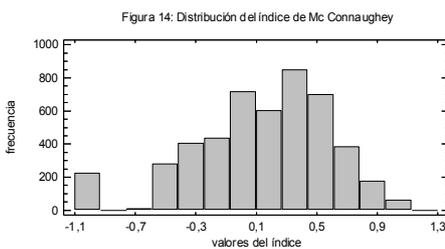
$$A_{(1)} = \frac{\sqrt{a+b+c}}{\sqrt{a+b+c}}$$

Baroni-Urbani & Buser_2 (1976) $r=0,9153$



$$A_{(1)} = \frac{a+le}{(a+b)(a+c)}$$

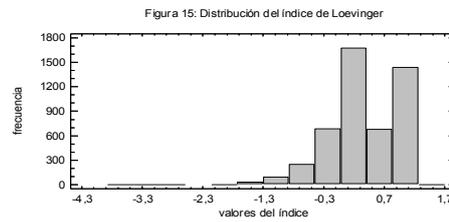
McConnaughey (1964) $r=0,9130$





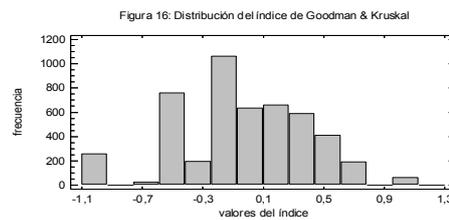
$$A_{-3}) = \frac{ab+bc}{a(b+c)+d}$$

Loevinger (1948) $r=0,9121$



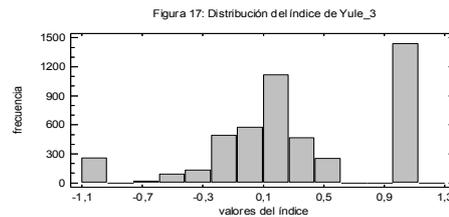
$$A_{-1}) = \frac{2abd-bc}{2abd+bc}$$

Goodman & Kruskal (1954) $r=0,9097$



$$A_{-1}) = \frac{\sqrt{ab}\sqrt{bc}}{\sqrt{ab}\sqrt{bc}}$$

Yule_3 (1912) $r=0,9079$

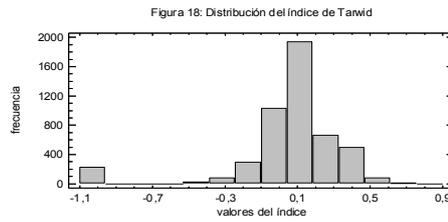


Un 49% de los índices mostraron una correlación moderadamente alta con $\sqrt{\chi^2}$ y la mayoría de ellos (71%) varían en el intervalo $[0,1]$. Se muestran a continuación las expresiones de estos índices separados en tres grupos de acuerdo a la magnitud de la correlación. Del grupo 2, para una correlación $0,70 \leq r \leq 0,80$ destacamos el índice de Sokal & Sneath_5 (A_{21}) que cumple con la propiedad de curtosis.



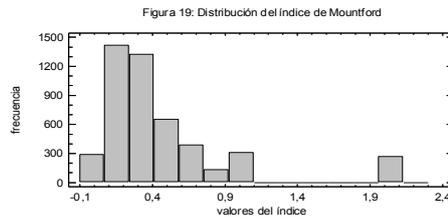
$$A-11) = \frac{a \cdot \bar{n}_a(cab)(ac)}{a \cdot \bar{n}_a(cab)(ac)}$$

Tarwid (1960) $r=0,7821$



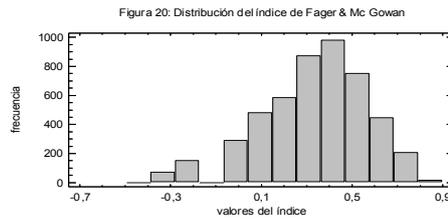
$$A-12) = \frac{a}{\frac{1}{2}(b+a)+c}$$

Mountford (1962) $r=0,7796$



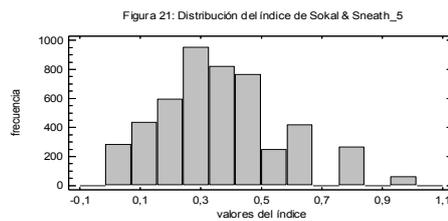
$$A-13) = \frac{a}{\sqrt{(ab)(ac)}} - \frac{1}{2} \ln\left(\frac{ab}{ac}\right)$$

Fager & McGowan (1963) $r=0,7789$



$$A-14) = \frac{ac}{\sqrt{(ab)(ac)(a)(b)}}$$

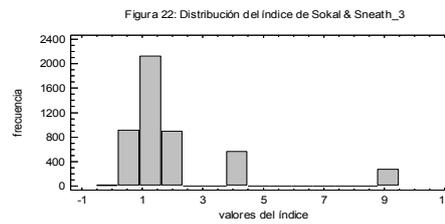
Sokal & Sneath_5 (1963) $r=0,7498$





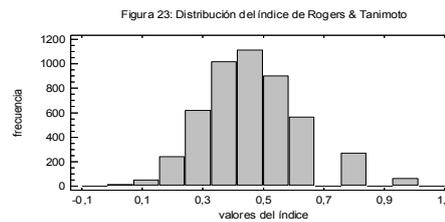
$$A_{29} = \frac{ac}{bc}$$

Sokal & Sneath_3 (1963) $r=0,7424$



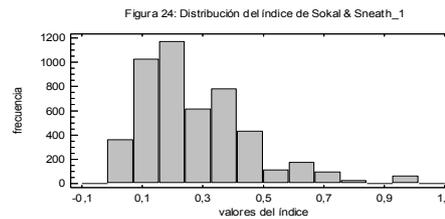
$$A_{27} = \frac{ad}{a+2(b+c)}$$

Rogers & Tanimoto (1960) $r=0,7175$



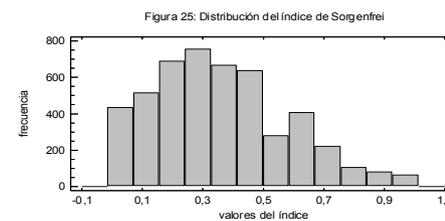
$$A_{29} = \frac{a}{a+2(b+c)}$$

Sokal & Sneath_1 (1963) $r=0,7111$



$$A_{29} = \frac{a}{(a+b)(a+c)}$$

Sorgenfrei (1959) $r=0,7090$



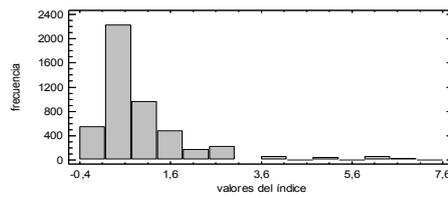
Del grupo 3, para una correlación $0,60 \leq r \leq 0,70$ destacamos el índice de Sokal & Michener (A_{29}) que cumple con la propiedad de simetría y los índices de Jaccard y Faith (A_{27} y A_{30}) que cumplen con la propiedad de curtosis.

$$A_{29} = \frac{a}{bc}$$

Kulczynski_1 (1927) $r=0,6656$



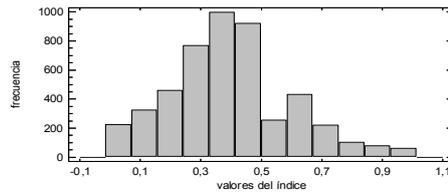
Figura 26: Distribución del índice de Kulczynski_1



$$Q_1 = \frac{a}{abc}$$

Jaccard (1901) $r=0,6551$

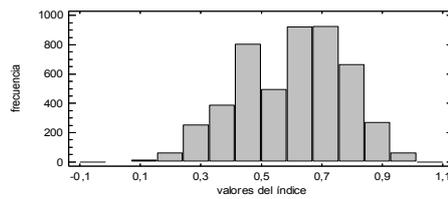
Figura 27: Distribución del índice de Jaccard



$$Q_1 = \frac{1}{2} \left(\frac{a+a+d+d}{ab+ac+cd+bd} \right)$$

Sokal & Sneath_2 (1963) $r=0,6489$

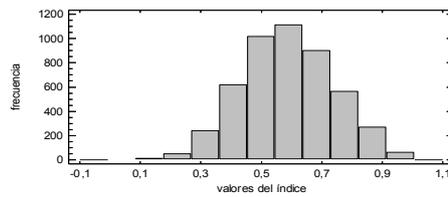
Figura 28: Distribución del índice de Sokal & Sneath_2



$$Q_1 = \frac{ad}{abcd} = \frac{ac}{abcd \cdot n}$$

Sokal & Michener (1958) $r=0,6392$

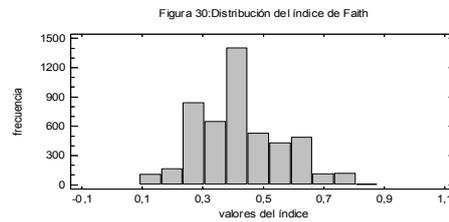
Figura 29: Distribución del índice de Sokal & Michener





$$A_{31} = \frac{a+d}{n}$$

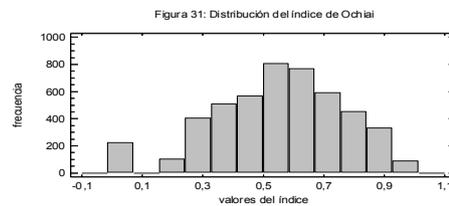
Faith (1983) $r=0,6009$



Del grupo 4, para una correlación $0,50 \leq r \leq 0,60$ destacamos el índice de Sorensen (A_{33}) que cumple con la propiedad de curtosis.

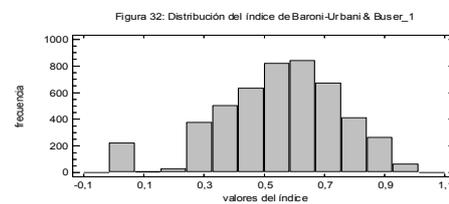
$$A_{32} = \frac{a}{2(ab+ac)}$$

Driver & Kroeber (1932); Ochiai (1957) $r=0,5612$



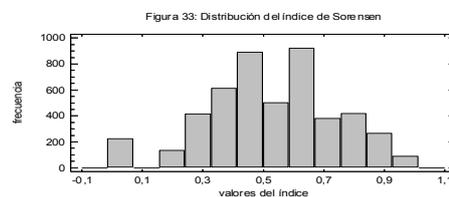
$$A_{33} = \frac{\sqrt{aba}}{\sqrt{aba+abc}}$$

Baroni-Urbani & Buser_1 (1976) $r=0,5601$



$$A_{34} = \frac{a}{a + \frac{1}{2}(b+c)}$$

Dice (1945); Sorensen (1948) $r=0,5582$

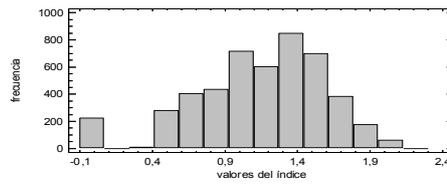


$$A_{35} = \frac{a+a}{ab+ac}$$

Johnson (1967) $r=0,5548$



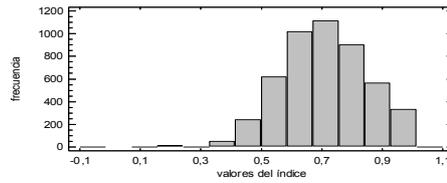
Figura 34: Distribución del índice de Johnson



$$J_1 = \frac{ad}{a + \frac{1}{2}(b+d)}$$

Sokal & Sneath_4 (1963) $r=0,5460$

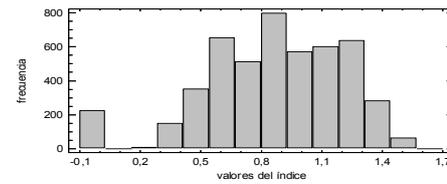
Figura 35: Distribución del índice de Sokal & Sneath_4



$$K_2 = \frac{1}{2} \left(\frac{a}{ab} + \frac{a}{ac} \right)$$

Kulczynski_2 (1927) $r=0,5421$

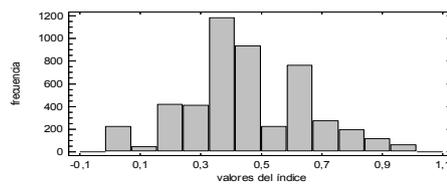
Figura 36: Distribución del índice de Kulczynski_2



$$B_1 = \frac{a}{m(a+b)(a+c)}$$

Braun-Blanquet (1932) $r=0,5397$

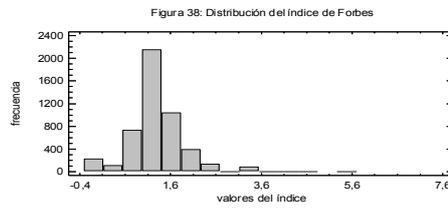
Figura 37: Distribución del índice de Braun-Blanquet





$$A_0 = \frac{a}{a} = \frac{na}{(a)(ca)}$$

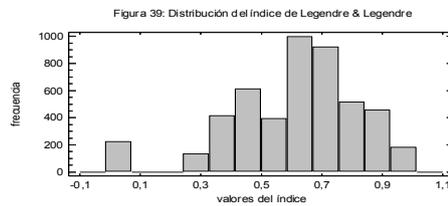
Forbes (1907) $r=0,5070$



El 7% restante mostró una correlación relativamente débil $0,40 \leq r \leq 0,50$ y la totalidad de ellos varían en el intervalo $[0,1]$ y se muestran a continuación sus expresiones y distribuciones.

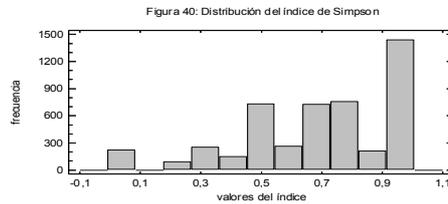
$$A_0 = \frac{31}{3abc}$$

Legendre & Legendre (1998) $r=0,4852$



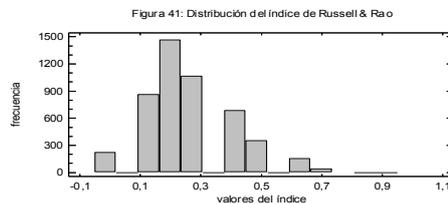
$$A_0 = \frac{a}{n((a)(b)(ca))}$$

Simpson (1943) $r=0,4780$



$$A_0 = \frac{a}{abcdn} = \frac{a}{n}$$

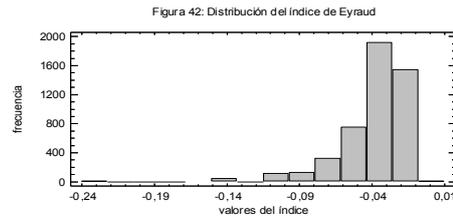
Russell & Rao (1940) $r=0,4098$



A continuación se muestran las expresiones y distribuciones de los dos índices que no cumplieron con la propiedad de monotonicidad.

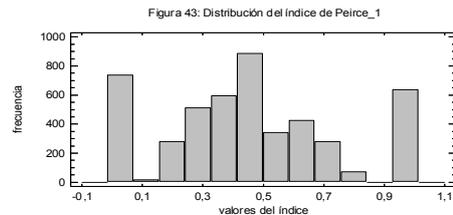
$$A_0 = \frac{a(ab)(ca)}{(a)(b)(ca)(a)(b)(ca)}$$

Eyraud (1936) $r=-0,0133$



$$A_{91} = \frac{d_{b1e}}{d_{b2e+cl}}$$

Peirce_1 (1884) $r=-0,0002$



CONCLUSIONES

La mayoría de los índices estudiados en este trabajo (95%) cumplen con la propiedad de monotonicidad con $\sqrt{\chi^2}$, en particular, 17 (39%) tienen una correlación muy alta (>90%).

Muchos de los índices estudiados en este trabajo (79%) no cumplen con propiedades distribucionales deseables.

Si bien el estudio realizado ha estado limitado a ciertas situaciones específicas, se descubren algunos índices que serían más apropiados que otros.

Por ejemplo, los índices de Jaccard (A_{27}) y Sorensen (A_{33}), que mostraron correlación moderadamente alta con $\sqrt{\chi^2}$, son los más usados en Ecología y se encuentran implementados en casi todos los programas de computación.

Por su parte el índice de Hamann (A_9), que mostró una correlación relativamente alta con $\sqrt{\chi^2}$ es uno de los pocos que presenta una distribución simétrica, si bien no es un índice muy utilizado en Ecología.

Por lo tanto, resulta de interés avanzar en el estudio de otras propiedades que deben cumplir los índices para ser considerados “buenos índices”, como ser: mínimos, máximos, simetría, linealidad, indeterminancia, propiedades métricas, etc., lo cual será objeto de un futuro trabajo.



REFERENCIAS

- [1] Jaccard P. 1901. Distribution de la flore alpine dans le basin des Dranses et dans quelques régions voisines. *Bulletin de la Société Vaudoise des Sciences Naturelles* 37: 241-272
- [2] Forbes S.A. 1907. On the local distribution of certain Illinois fishes: An essay in statistical ecology. *Bulletin of the Illinois State Laboratory for Natural History* 7: 273-303
- [3] Driver H.E. & Kroeber A.L. 1932. Quantitative expression of cultural relationship. *The University of California Publications in American Archaeology and Ethnology* 31: 211-256
- [4] Sneath P.H.A. 1957. The application of computers to taxonomy. *J. Gen. Microbiol.* 17: 201-226
- [5] Goodman L.A. & Kruskal W.H. 1954. Measures of association for cross classifications I. *Journal of the Am. Statistical Association* 49: 732-764
- [6] Goodman L.A. & Kruskal W.H. 1959. Measures of association for cross classifications II. Further discussion and references. *Journal of the Am. Statistical Association* 54: 123-163
- [7] Goodman & Kruskal 1963. Measures of association for cross classifications III. Approximate sampling theory. *Journal of the Am. Statistical Association* 58: 310-364
- [8] Dagnelie P. 1960. Contribution á l'étude des communautés végétales par l'analyse factorielle. *Bull. Serv. Carte Phytogéogr. B* 5: 7-71, 93-195
- [9] Sokal R.R. & Sneath P.H.A. 1963. *Principles of numerical taxonomy*. W. Freeman & Co. San Francisco
- [10] Cole L.C. 1949. The measurement of interspecific association. *Ecology* 30: 411-424
- [11] Cheetham A.H. & Hazel J.E. 1969. Binary (presence-absence) similarity coefficients. *Journal of Paleontol.* 43: 1130-1136
- [12] Williams W.T. & Dale M.B. 1965. Fundamental problems in numerical taxonomy. *Advanced Bot. Res.* 2: 35-68
- [13] Gower J.C. & Legendre P. 1986. Metric and Euclidean properties of dissimilarity coefficients. *Journal of Classification* 3: 5-48
- [14] Fichet B. & Le Calve G. 1984. Structure geometrique des principaux indices de dissimilarité sur signes de presence-absence. *Statistiques et Analyse de dones* Vol. 9 N° 3: 11-44
- [15] Hubálek Z. 1982. Coefficients of association and similarity, based on binary (presence-absence) data: an evaluation. *Biolog. Rev.* 57: 669-689
- [16] Warrens M.J. 2008. On the indeterminacy of resemblance measures for binary (presence/absence) data. *Journal of Classification* 25: 125-136
- [17] Siegel S. 1980. *Estadística no paramétrica aplicada a las ciencias de la conducta*. Trillas, México.

ices

INTERNATIONAL CENTER FOR EARTH SCIENCES

Nodo Argentina

www.imd.uncu.edu.ar

ices@uncu.edu.ar | ices.uncuyo@gmail.com

Espacio de la Ciencia y la Tecnología. Padre J. Contreras 1300,

Parque General San Martín, Mendoza, República Argentina. Tel. 00 54 0261 4299986



UNCUYO



FUNDACIÓN WILLIAMS

